

**ELABORACIÓN DE UN MANUAL DIDÁCTICO PARA EL FUNCIONAMIENTO
DEL EQUIPO TRIAXIAL DINÁMICO MARCA GDS**

**JESSICA LIZETH CÁRDENAS RUEDA
LUIS FRANCISCO LEÓN AROCA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

**ELABORACIÓN DE UN MANUAL DIDÁCTICO PARA EL FUNCIONAMIENTO
DEL EQUIPO TRIAXIAL DINÁMICO MARCA GDS.**

**JESSICA LIZETH CÁRDENAS RUEDA
LUIS FRANCISCO LEÓN AROCA**

Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero Civil

**Director:
HEBENLY CELIS LEGUIZAMO
Especialista en Asfaltos y Pavimentos UIS
Magíster en Ingeniería Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios, por ser mi guía en este camino tan largo y lleno de obstáculos, los cuales con su ayuda he ido superando; por todas sus infinitas bendiciones, y por brindarme la oportunidad de estar hoy aquí realizando mis sueños; porque día a día me enseña y me indica cual es el camino recorrer.

A mis padres Luis Eduardo León y Roció Aroca, mi fuente de inspiración, que con su esmero, lucharon a pesar de las dificultades para apoyarme y poder alcanzar este logro que más que mío es de ellos; por su comprensión incondicional y por cada uno de los sacrificios que hicieron para ayudarme a alcanzar esta meta.

A mis hermanas Irina y Daniela, que en su momento se sacrificaron para darme la oportunidad y el apoyo incondicional de estudiar y logras mis sueños que también son los de ellas.

A Carolina pinilla, por ser mi apoyo incondicional en los momentos de felicidad y dificultad, por ser esa persona que en todo momento me indico cuales eran mis prioridades y los caminos que debería recorrer; y por ese Amor incondicional. Gracias Dios por ponerla en mi camino.

Luis Francisco

A Dios por guiarme y enseñarme a través del tiempo, por cada dificultad que puso en mi camino para que me convirtiera en quien soy y por la hermosa familia que me regalo.

A mi mamá y papá Luz Marina Rueda Suarez quien forjo mi carácter e inculcó en mi lograr metas grandes, por su ayuda y comprensión en todos los momentos difíciles, por enseñarme a ver soluciones y no quedarme en los problemas

A mi tía Martha Cecilia Rueda Suarez, quien es como una segunda mamá para mí, gracias por darme el ejemplo de perseverar y de luchar por mis sueños, pero sobre todo por enseñarme a persistir insistir y nunca desistir.

A mi madrina y tía Yaneth Rueda de Talero por recalcar mis cualidades, por su cariño ayuda y comprensión incondicional, por sus cuidados y por hacerme sentir parte de su familia.

A mi madre María Luisa Suarez Mejía, por todo el tiempo que cuido de mí, por su amor, por su dedicación y preocupación, por su deseo de verme profesional y por demostrarme que todos los esfuerzos traen sus recompensas que siempre se debe anhelar algo mejor, que nada es imposible con la ayuda de Dios.

Lizeth Cárdenas

AGRADECIMIENTOS

A nuestra alma Mater y en especial a la Escuela de Ingeniería Civil, la cual por medio de su profesorado nos formó de la mejor manera para alcanzar este logro.

A nuestra Directora Hebenly Celis Leguizamo, quien oriento y nos brindó el apoyo en nuestro trabajo de grado.

A los ingenieros Hermes Arial Vacca Gámez y Oscar Orlando Rodríguez Rubio, por compartir su conocimiento al momento de manejar el equipo Triaxial Dinámico y por todas las indicaciones para realizar de la mejor forma este proyecto.

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|-------------|
| INTRODUCCIÓN..... | 24 |
| 1. MARCO TEÓRICO | 26 |
| 1.1 ANTECEDENTES..... | 26 |
| 1.2 FUNDAMENTO DE LA MECÁNICA DE SUELOS | 27 |
| 1.3 PROBLEMA DE LA MECÁNICA DE SUELOS..... | 28 |
| 1.4 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DEL SUELO. | 29 |
| 1.5 LICUEFACCIÓN | 29 |
| 1.6 DESPLAZAMIENTOS LATERALES | 30 |
| 1.7 PERDIDA DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO..... | 30 |
| 1.8 ENSAYO TRIAXIAL DINÁMICO | 31 |
| 1.8.1 Introducción al Ensayo Triaxial Dinámico..... | 31 |
| 1.8.1 Ensayo de Carga Controlada..... | 32 |
| 1.8.2 Ensayo de Deformación Controlada | 33 |
| 1.9 TIPOS DE PRUEBAS..... | 33 |
| 1.9.1 No Consolidado No Drenado (UU)..... | 33 |
| 1.9.2 Consolidado, No Drenado (CU) | 33 |
| 1.9.3 Consolidado, Drenado (CD)..... | 34 |
| 2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO | 35 |
| 2.1 BASE DE LA CÁMARA..... | 37 |
| 2.2 CELDAS DE CARGAS SUMERGIBLES INTERNO: | 37 |
| 2.3 ANILLOS DE ACCESO..... | 38 |
| 2.4 CONTROLADOR PRESIÓN/VOLUMEN STANDARD (STDDPC) V2: | 39 |
| 2.4.1 Códigos LED..... | 41 |

| | |
|---|-----|
| 2.5 EL TECLADO INTELIGENTE: | 43 |
| 2.5.1 Sistemas de eventos y barra de información | 44 |
| 2.5.2 Comando MENÚ..... | 45 |
| 2.5.3 System Menu..... | 46 |
| 2.5.4 Entrada de diálogos numéricos..... | 47 |
| 2.5.5 Accesos directos..... | 48 |
| 2.5.6 Menú de comando CMD. | 49 |
| 2.6 SISTEMA DE CONTROL DIGITAL DE ADQUISICIÓN DE DATOS GDS | 52 |
| 2.7 SOFTWARE GDSLAB | 53 |
| 2.8 TOP-CAP..... | 55 |
| 2.9 KIT DE PREPARACIÓN DE LA MUESTRA..... | 56 |
| 3.10 MANGUERA HIDRÁULICA..... | 57 |
| 2.11 KIT DE CONEXIONES HIDRÁULICAS | 57 |
| 3 PROCEDIMIENTO | 59 |
| 3.1 PREPARACIÓN DEL EQUIPO PARA EL ENSAYO | 62 |
| 3.1.1 Conectar la manguera de presión de poros al pedestal. | 70 |
| 3.1.2 Conectar el cabezal superior con la manguera de succión que lleva a la válvula de ventilación a la atmósfera | 71 |
| 3.1.3 Desbloquear los controladores | 73 |
| 3.1.4 Inicio programa GDS | 75 |
| 3.1.5 Bajar el pedestal | 79 |
| 3.2 MONTAJE DE LA MUESTRA | 83 |
| 3.3 PREPARACIÓN DEL EQUIPO PARA LA ETAPA DE SATURACIÓN..... | 95 |
| 3.3.1 Subir el pedestal | 95 |
| 3.3.2 Aplicación de precarga y succión..... | 97 |
| 3.3.3 Purgado de mangueras y controladores | 99 |
| 3.3.4 Colocar en ceros..... | 111 |
| 3.3.5 Llenar la Cámara con agua..... | 115 |
| 3.4 LAVADO DE LA MUESTRA..... | 117 |
| 3.5 SATURACIÓN | 123 |

| | |
|--|-----|
| 3.6 B CHECK..... | 142 |
| 3.7 CONSOLIDACIÓN..... | 152 |
| 3.9 APLICACIÓN DEL ESFUERZO DESVIADOR (FALLA DE LA MUESTRA)... | 175 |
| 4. CONCLUSIONES | 183 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 185 |
| ANEXOS | 188 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Panel frontal | 30 |
| Figura 2. Pérdida portante del suelo. | 31 |
| Figura 3. Máquina triaxial dinámica UIS..... | 36 |
| Figura 4. Cámara..... | 36 |
| Figura 5. Aparato típico MINIDyn..... | 37 |
| Figura 6. Celda de carga | 37 |
| Figura 7. Anillo de acceso..... | 38 |
| Figura 8. Controlador Presión/Volumen Standard (STDDPC) V2..... | 39 |
| Figura 9. Conexión básica del Controlador Presión/Volumen Standard (STDDPC) V2..... | 41 |
| Figura 10. Conector STDDPC e indicador de detalles | 42 |
| Figura 11. Teclado inteligente y sus principales funciones..... | 43 |
| Figura 12. Display del teclado inteligente..... | 44 |
| Figura 13. Menú. | 46 |
| Figura 14. Lista despegable de la lista de Menu. | 46 |
| Figura 15. Dialogo de entrada numérica. | 47 |
| Figura 16. Atajos y comandos rápidos. | 48 |
| Figura 17. a) Menú de comandos 1 de 2, b) Menú de comandos 2 de 2..... | 49 |
| Figura 18. Presión objetivo | 50 |
| Figura 19. Volumen objetivo | 50 |
| Figura 20. Sistema de Control Digital de Adquisición de Datos GDS | 52 |
| Figura 21. GDSLAB Software de control y adquisición de datos..... | 54 |
| Figura 22. Top-Cap y Goma plástica | 55 |
| Figura 23. Kit Accesorios para la preparación de la muestra | 56 |

| | |
|---|----|
| Figura 24. Tuberías hidráulicas para conexiones..... | 57 |
| Figura 25. Kit de conexiones hidráulicas..... | 57 |
| Figura 26. Procedimiento ensayo triaxial dinámico. | 59 |
| Figura 27. Conexión del equipo | 62 |
| Figura 28. Encendido del actuador | 63 |
| Figura 29. Botón de emergencia..... | 63 |
| Figura 30. a) Manera correcta b) Manera incorrecta | 64 |
| Figura 31. Botones de las cajas de adquisición de datos encendidos..... | 64 |
| Figura 32. Cajas de adquisición de datos encendidas | 65 |
| Figura 33. Botón del controlador de presión encendido | 65 |
| Figura 34. Controlador de presión encendido | 65 |
| Figura 35. Pedestal para muestras de diámetro 10 cm..... | 66 |
| Figura 36. Pedestal para muestras de diámetro 5 cm..... | 66 |
| Figura 37. Equipo sin pedestal..... | 67 |
| Figura 38. Instalación del pedestal | 67 |
| Figura 39. Soporte y pedestal..... | 68 |
| Figura 40. Tornillos que se deben ajustar en pedestal de muestra de 10 cm y 5 cm de diámetro respectivamente..... | 69 |
| Figura 41. Conexión manguera de presión de poros al pedestal. | 70 |
| Figura 42. Conexión manguera de presión de poros al pedestal. | 71 |
| Figura 43. Cámara..... | 72 |
| Figura 44. Detalle de la conexión interna de la Cámara..... | 72 |
| Figura 45. Conexión manguera de succión al cabezal unido a la cámara..... | 73 |
| Figura 46. Controlador de presión bloqueado. | 73 |
| Figura 47. Primer paso para el desbloqueo del controlador de presión. | 74 |
| Figura 48. Segundo pasó para el desbloqueo del controlador de presión..... | 74 |
| Figura 49. Tercer paso para el desbloqueo del controlador de presión..... | 75 |
| Figura 50. Cuarto pasó para el desbloqueo del controlador de presión. | 75 |
| Figura 51. Inicio del programa GDS..... | 76 |
| Figura 52. Creación de una estación. | 76 |

| | |
|---|----|
| Figura 53. Escoger la celda de carga..... | 77 |
| Figura 54. Estación creada. | 77 |
| Figura 55. Management..... | 77 |
| Figura 56. Object Display..... | 78 |
| Figura 57. Imagen obtenida al dar click en TX/CP y Read. | 78 |
| Figura 58. Ejemplo de errores | 79 |
| Figura 59. Módulo DCS. | 80 |
| Figura 60. Platten Position..... | 80 |
| Figura 61. Option Move in negative Direction | 81 |
| Figura 62. Error que aparece al bajar completamente | 82 |
| Figura 63. Piedra porosa. | 84 |
| Figura 64. Papel filtro..... | 84 |
| Figura 65. Revisión de la membrana. | 85 |
| Figura 66. Ubicación de la membrana. | 85 |
| Figura 67. Ubicación de los O ring inferior. | 86 |
| Figura 68. Ubicación del molde..... | 86 |
| Figura 69. Estiramiento de la membrana. | 87 |
| Figura 70. Suelo vertiéndose y compactándose. | 88 |
| Figura 71. Suelo listo | 88 |
| Figura 72. Ubicación del papel filtro..... | 89 |
| Figura 73. Ubicación de la piedra porosa..... | 89 |
| Figura 74. Ubicación del cabezal superior. | 90 |
| Figura 75. Ubicación del O ring..... | 90 |
| Figura 76. Membrana doblada correctamente. | 91 |
| Figura 77. Molde siendo retirado. | 91 |
| Figura 78. Conexión manguera de contrapresión al cabezal superior..... | 92 |
| Figura 79. Gomas elásticas para muestras de 10 cm y 5 cm de diámetro respectivamente. | 92 |
| Figura 80. Lubricación de la goma..... | 93 |
| Figura 81. Ubicación de la goma. | 93 |

| | |
|---|-----|
| Figura 82. Válvula de ventilación a la atmósfera. | 94 |
| Figura 83. Ubicación de la cámara. | 94 |
| Figura 84. Procedimiento para subir el pedestal. | 95 |
| Figura 85. Platten Position. | 95 |
| Figura 86. Move in Positive Direction. | 96 |
| Figura 87. Pedestal subiendo. | 97 |
| Figura 88. Procedimiento para aplicar una precarga. | 97 |
| Figura 89. Aplicación de precarga. | 98 |
| Figura 90. Llave de Succión. | 98 |
| Figura 91. Succión. | 99 |
| Figura 92. Oprimir CMD. | 99 |
| Figura 93. Fast Empty. | 100 |
| Figura 94. Mecanismo de vaciado del controlador. | 100 |
| Figura 95. CMD. | 101 |
| Figura 96. Fast Fill. | 101 |
| Figura 97. Mecanismo de llenado del controlador. | 102 |
| Figura 98. MENU. | 102 |
| Figura 99. Fill/Empty. | 103 |
| Figura 100. Slow/Empty. | 103 |
| Figura 101. Racor en el controlador de contrapresión. | 104 |
| Figura 102. Racor en el controlador de presión de cámara. | 104 |
| Figura 103. Agua sin burbujas saliendo del controlador de contrapresión. | 105 |
| Figura 104. Agua sin burbujas saliendo del controlador de presión de cámara. | 105 |
| Figura 105. Mecanismo de desairado del controlador de contrapresión. | 106 |
| Figura 106. Mecanismo de desairado del controlador de presión de cámara. | 106 |
| Figura 107. Conexión manguera del controlador de contrapresión a la llave de presión de poros. | 107 |
| Figura 108. Llave de presión de poros purgando los controladores. | 107 |
| Figura 109. Sellador de la llave de presión de poros. | 108 |
| Figura 110. Agua sin burbujas saliendo de la llave de presión de poros. | 108 |

| | |
|--|-----|
| Figura 111. Límites de llenado controlador de contrapresión. | 109 |
| Figura 112. Límites de llenado controlador de contrapresión. | 109 |
| Figura 113. Error generado al llenar completamente los controladores. | 110 |
| Figura 114. Mecanismo de lavado de llave de presión de poros. | 111 |
| Figura 115. Oprimir CMD. | 112 |
| Figura 116. Apply Pr. Offset. | 112 |
| Figura 117. Parámetros a colocar en 0 desde el software. | 113 |
| Figura 118. Axial Load (Kn). | 113 |
| Figura 119. Advanced. | 114 |
| Figura 120. Set Zero. | 114 |
| Figura 121. Manguera de lavado. | 115 |
| Figura 122. Válvula de ventilación a la atmósfera. | 116 |
| Figura 123. Llenado de la Cámara. | 116 |
| Figura 124. Conexión manguera del controlador de contrapresión a la llave de presión de poros. | 117 |
| Figura 125. Manguera de contrapresión para el lavado de la muestra. | 118 |
| Figura 126. Llave de contrapresión en el lavado de la muestra. | 118 |
| Figura 127. Llave de presión de poros en el lavado de la muestra. | 119 |
| Figura 128. Burbujas de aire al lavar la muestra. | 120 |
| Figura 129. Llaves y mangueras de presión de poros y contrapresión al finalizar el lavado de la muestra. | 121 |
| Figura 130. Conexión interna en etapa de lavado de muestra. | 121 |
| Figura 131. Mecanismo de lavado de muestra por el controlador de contrapresión. | 122 |
| Figura 132. Mecanismo de lavado de muestra por el controlador de presión De cámara. | 122 |
| Figura 133. Proceso de Saturación. | 123 |
| Figura 134. Saturación. | 124 |
| Figura 135. Mecanismo del controlador de contrapresión en la etapa de saturación. | 124 |

| | |
|---|-----|
| Figura 136. Mecanismo del controlador de contrapresión en la etapa de saturación. | 125 |
| Figura 137. Proceso de Saturación a una velocidad rápida. | 125 |
| Figura 138. Proceso de Saturación realizado con velocidad baja. | 126 |
| Figura 139. Exit. | 127 |
| Figura 140. Ingreso plataforma para iniciar ensayo. | 127 |
| Figura 141. Creación del archivo. | 127 |
| Figura 142. Single Directory. | 128 |
| Figura 143. Formato para guardar la prueba. | 129 |
| Figura 144. Nombre del archivo. | 129 |
| Figura 145. Sample. | 130 |
| Figura 146. Opciones de Sample. | 130 |
| Figura 147. ¿Especimen nuevo? | 130 |
| Figura 148. Dockeado de la muestra. | 131 |
| Figura 149. Datos de la muestra. | 132 |
| Figura 150. Add test. | 132 |
| Figura 151. Opciones de Add Test. | 133 |
| Figura 152. Primera rampa de saturación. | 134 |
| Figura 153. Opciones de terminación de la prueba. | 135 |
| Figura 154. Condiciones opcionales de la prueba. | 135 |
| Figura 155. Rampa de saturación en la lista de pruebas. | 136 |
| Figura 156. Muestra no dockeada. | 136 |
| Figura 157. Configuración de la gráfica. | 137 |
| Figura 158. Configuración de la gráfica en la etapa de saturación. | 138 |
| Figura 159. Start Test. | 138 |
| Figura 160. Llaves de presión de poros en la etapa de saturación. | 139 |
| Figura 161. Llave de contrapresión en la etapa de saturación. | 139 |
| Figura 162. Gráfica presión de cámara & Contrapresión VS tiempo de la primera rampa de saturación. | 140 |
| Figura 163. Segunda rampa de saturación. | 140 |

| | |
|--|-----|
| Figura 164. Gráfica presión de cámara & Contrapresión VS tiempo de la segunda rampa de saturación | 141 |
| Figura 165. Valor de B en la etapa de saturación. | 142 |
| Figura 166. Burbujas de aire antes y después de saturación. Burbujas de aire antes y después de saturación. | 142 |
| Figura 167. Cálculo del valor B. | 143 |
| Figura 168. Mecanismo del controlador de contrapresión en la etapa de B-check. | 144 |
| Figura 169. Mecanismo del controlador de presión de cámara en la etapa de B-check. | 144 |
| Figura 170. Test Plan. | 145 |
| Figura 171. Creación de la etapa de B-check. | 145 |
| Figura 172. Etapa de B-check. | 146 |
| Figura 173. Opciones de terminación de pruebas para la etapa de B-check. | 147 |
| Figura 174. Opciones adicionales para la etapa de B-check. | 147 |
| Figura 175. Etapa de B-check en la lista de pruebas. | 148 |
| Figura 176. Procedimiento para realizar la etapa de B-check. | 148 |
| Figura 177. Llave de presión de poros en la etapa de B-check. | 149 |
| Figura 178. Llave de contrapresión en la etapa de B-check. | 149 |
| Figura 179. Configuración de la gráfica. | 150 |
| Figura 180. Configuración de la gráfica en la etapa de B-check. | 150 |
| Figura 181. Gráfica tiempo VS. Valor B. | 151 |
| Figura 182. Etapa de consolidación. | 152 |
| Figura 183. Mecanismo del controlador de contrapresión en la etapa de consolidación. | 153 |
| Figura 184. Mecanismo del controlador de presión de cámara en la etapa de consolidación. | 153 |
| Figura 185. Sistema de mangueras. | 154 |
| Figura 186. Test Plan | 154 |
| Figura 187. Creación de la etapa de Consolidación. | 155 |

| | |
|---|-----|
| Figura 188. Etapa de consolidación..... | 156 |
| Figura 189. Etapas de terminación de la prueba en la etapa de consolidación. ... | 157 |
| Figura 190. Condiciones opcionales de la prueba | 157 |
| Figura 191. Etapa de consolidación en la lista de pruebas. | 158 |
| Figura 192. Next Stage..... | 158 |
| Figura 193. Llave de presión de poros en la etapa de consolidación. | 159 |
| Figura 194. Llave de contrapresión en la etapa de consolidación. | 159 |
| Figura 195. Configuración de la gráfica. | 160 |
| Figura 196. Configuración de la gráfica en la etapa de consolidación..... | 160 |
| Figura 197. Gráfica de Log tiempo Vs. Cambio en el volumen. | 161 |
| Figura 198. Procedimiento para obtener graficas de Casagrande y taylor. | 162 |
| Figura 199. Graficas de Casagrande y taylor respectivamente. | 162 |
| Figura 200. Etapa de Carga dinámica..... | 163 |
| Figura 201. Test Plan. | 164 |
| Figura 202. Creación de la etapa de carga cíclica. | 165 |
| Figura 203. Procedimiento para realizar la etapa de carga cíclica. | 165 |
| Figura 204. Ingreso datos en la etapa de carga cíclica por desplazamiento. | 167 |
| Figura 205. Condiciones de terminación de la etapa de carga cíclica por desplazamiento. | 168 |
| Figura 206. Etapa de carga cíclica por desplazamiento en la lista de pruebas ... | 169 |
| Figura 207. Muestra ha sido dockeada..... | 169 |
| Figura 208. Nuevas dimensiones de la muestra. | 170 |
| Figura 209. Configuración de la gráfica. | 170 |
| Figura 210. Configuración de la gráfica en la etapa de carga dinámica. | 171 |
| Figura 211. Next Stage..... | 171 |
| Figura 212. Llave de presión de poros en la etapa Carga dinámica..... | 172 |
| Figura 213. Llave de contrapresión en la etapa de Carga dinámica..... | 172 |
| Figura 214. Diagrama de histéresis. | 173 |
| Figura 215. Ciclos..... | 173 |
| Figura 216. Formas de ondas sinusoidales inaceptables..... | 174 |

| | |
|---|-----|
| Figura 217. Diagrama de histéresis. | 174 |
| Figura 218. Etapa de falla. | 175 |
| Figura 219. Test Plan. | 176 |
| Figura 220. Creación de la etapa de falla. | 177 |
| Figura 221. Ingreso de datos en la etapa de falla. | 177 |
| Figura 222. Falla automática. | 178 |
| Figura 223. Parámetros de terminación de la etapa de falla. | 179 |
| Figura 224. Etapa de falla en la lista de pruebas. | 179 |
| Figura 225. Llave de presión de poros en la etapa falla. | 180 |
| Figura 226. Llave de contrapresión en la etapa de falla. | 180 |
| Figura 211. Next Stage. | 181 |
| Figura 228. Configuración de la gráfica en la etapa de falla. | 181 |
| Figura 229. Gráfica de desplazamiento axial Vs. Carga de la celda. | 182 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Adaptada Manual Maquina Triaxial Dinámica | 53 |
| Tabla 2. Diferentes valores de B..... | 145 |
| Tabla 3. Típicos rangos de frecuencia para diferentes cargas | 164 |
| Tabla 4. Amplitudes a ingresar. | 166 |
| Tabla 5. Condiciones durante la etapa de falla | 176 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|--|-------------|
| ANEXO A. Entorno gráfico del software..... | 188 |

RESUMEN

TÍTULO: ELABORACIÓN DE UN MANUAL DIDÁCTICO PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO TRIAXIAL DINÁMICO MARCA GDS.*

ÁUTORES: JESSICA LIZETH CÁRDENAS RUEDA**
LUIS FRANCISCO LEÓN AROCA

PALABRAS CLAVES: presión de cámara, contrapresión, licuefacción, carga controlada, deformación controlada, b skempton, rigidez, saturación, consolidación, controladores de carga.

DESCRIPCIÓN

El siguiente trabajo tiene por objetivo la elaboración de un manual didáctico para el correcto funcionamiento del equipo triaxial dinámico marca GDS junto con un video tutorial explicativo del procedimiento, el cual permite una mejor utilización del mismo. El equipo GDSLAB v.2.5.4 Consiste en un sistema automatizado de ensayo triaxial dinámico, configurado mediante controladores de presión, celdas de carga, cajas de adquisición de datos y software. Además de esto describe cada uno de los pasos y cuidados a seguir para la realización del ensayo (saturación, b-check, consolidación, carga dinámica y falla).

Para la elaboración del manual se realiza el ensayo triaxial dinámico teniendo en cuenta procedimientos expuestos en la norma ASTM 3999 y ASTM 5311. El ensayo Triaxial Dinámico es utilizado habitualmente para determinar las propiedades in situ del suelo, El ensayo se realiza sobre una muestra cilíndrica que tiene una altura igual a dos veces el diámetro, protegida por una membrana de látex y sujeta a dos cabezales donde el inferior se apoya al pedestal y el superior se encuentra en contacto con el cabezal de la celda de carga, todo esto dentro de una cámara transparente que se llena de agua para aplicar una presión de celda isotrópica constante.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Hebenly Celis Leguizamo, Especialista en Asfaltros y Pavimentos UIS, Magíster en Ingeniería Civil, Ingeniero Civil

ABSTRACT

TITLE: DEVELOPMENT OF A MANUAL FOR OPERATION DYNAMIC TRIAXIAL TEAM MARK GDS.

ÁUTHORS: JESSICA LIZETH CARDENAS RUEDA**
LUIS FRANCISCO LEON AROCA

KEY WORDS: Back pressure, cell pressure, liquefaction, controlled load, controlled deformation, b skempton, stiffness, saturation, consolidation, charge controllers.

DESCRIPTION

The next job has as its objective the development of a training manual for the correct operation of the equipment dynamic triaxial GDS brand together with a video tutorial explaining the procedure, which allows for better utilization of the same. The computer GDSLAB v.2.5.4 consists in an automated system of cyclic load dynamic, configured using pressure drivers, load cells, boxes of acquisition of data and software. In addition to this describes each of the steps and care to follow for the execution of the test (saturation, b-check, consolidation, dynamic load and fails).

For the elaboration of the manual test is performed the dynamic triaxial taking into account procedures outlined in the ASTM 3999 and ASTM 5311. The Dynamic Triaxial test is typically used for determining in situ properties of the soil, the test is performed on a cylindrical sample that has a height equal to two times the diameter, protected by a membrane of latex and subject to two headers where the bottom is supported at the pedestal and the superior is in contact with the head of the load cell, all this within a transparent camera that is filled with water to apply a pressure of isotropic cell constant.

* Degree work

** Faculty of Mechanical Engineering and Physical. School of Civil Engineering. Director: Hebenly Celis Leguizamo, Flooring Specialist Asfaltros and UIS, Master in Civil Engineering, Civil Engineer

INTRODUCCIÓN

Con el fin de predecir desastres el ingeniero civil tiene como prioridad construir estructuras seguras y estables, para esto es necesario estudiar y analizar el comportamiento del suelo cuando está sometido a cargas dinámicas producidas por fenómenos naturales o por la acción del hombre como: terremotos, oleaje, viento, maquinaria vibrante, tránsito ferroviario entre otros. Algunos de los comportamientos más importantes son: Pérdida de resistencia o pérdida de la capacidad portante del suelo (licuefacción), cambios de volumen en el suelo (densificación), cambios en el estado de esfuerzos de las masas de suelos, y amplificación dinámica y resonancia en suelos blancos.

Dicha respuesta del suelo depende propiedades dinámicas como módulo de rigidez estático (G), módulo de rigidez dinámico (μ), relación de amortiguamiento (ξ), relación de Poisson (ν), además de las condiciones geológicas y geotécnicas, por este motivo se han desarrollado diferentes ensayos que permitan simular las condiciones in situ del suelo en el laboratorio guiados por las normas de la Asociación Americana para Pruebas y Materiales (ASTM)

Uno de estos ensayos es el triaxial dinámico que permite estudiar una muestra de suelo protegida por una membrana, mediante la aplicación de una presión a través de los espacios vacíos dentro de ella (contrapresión) y una presión lateral (presión de cámara), con el objetivo de saturar, consolidar y aplicar una deformación o carga constante para obtener los parámetros dinámicos anteriormente mencionados.

Dada la gran importancia del ensayo triaxial dinámico se elaboró un manual bajo las normas ASTM 3999 y ASTM 5311, con este manual los laboratoristas o ingenieros que no conocen el funcionamiento de la máquina podrán realizar

ensayos dinámicos triaxiales en el laboratorio de caracterización de materiales de la escuela de Ingeniería Civil sin cometer errores que puedan afectar la vida útil de la máquina.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES

La dinámica de suelos es la rama de la Ingeniería Civil que estudia las propiedades dinámicas y el comportamiento de los diferentes suelos sometidos a cargas dinámicas; la cual ha desarrollado procedimientos teóricos experimentales a través de la ejecución de ensayos tanto de laboratorio como de campo. Los orígenes de la Dinámica de suelos se remontan a Japón, en el que Mononobe y Matsuo (1929) publicaron su trabajo sobre “PRESIÓN LATERAL SÍSMICA”; Saita y Suzuki (1934) señalaron la importante relación entre el daño estructural y las condiciones locales del sitio.

En la década de los años 30 surgen, simultáneamente en Alemania y en la ex Unión Soviética esfuerzos por desarrollar procedimientos racionales con el diseño de cimentación de maquinaria. En Alemania surgieron varios métodos que estuvieron en uso hasta los años 50, dichos métodos estaban basados en la suposición de que cierta masa del suelo inmediatamente debajo de la cimentación se movía como cuerpo rígido y en fase con la cimentación.

A partir de 1950 los Estados Unidos se enfocan al estudio del “FENÓMENO DE LA PROPAGACIÓN DE ONDAS EN EL TERRENO” asociada con explosiones nucleares, así como al diseño de la cimentación para antenas de radar.

Se inicia también la medición de las propiedades dinámicas, lo que hizo necesario el diseño de equipo de laboratorio, así como de los procedimientos de ensaye correspondientes; pero no fue sino a partir de 1964 cuando la investigación se intensificó a raíz de los daños que provocaron los sismos de Anchorage, Alaska y

Niigata, Japón, lo cual obligo a entender el comportamiento de las masas de suelo durante la ocurrencia de sismos.

Desde entonces y a lo largo de más de cuatro décadas, la Dinámica de suelos ha evolucionado ante la creciente necesidad de describir, explicar y predecir el comportamiento dinámico de los suelos expuestos a esfuerzos que varían con el tiempo, y de las estructuras cimentadas sobre ellos¹.

1.2 FUNDAMENTO DE LA MECÁNICA DE SUELOS

El diseño de estructuras civiles requiere el conocimiento de factores como:

- Cargas transmitidas a las estructuras
- Requisitos de construcción
- Comportamiento de esfuerzo - deformación en un suelo
- Condiciones geológicas y geotécnicas del suelo

Los factores más relevantes o de mayor importancia son el de analizar el comportamiento de un suelo en base a esfuerzo- deformación y a las condiciones tanto geológicas como geotécnicas de un suelo ya que tienen que ver con la mecánica de suelos, la cual permite describir el comportamiento del suelo colindante o debajo de una estructura.

¹ Bran Sánchez, José Guillermo Gonzales Cruz, Rafael Antonio Ortiz Landaverde, Hugo Alejandro. Métodos de ensayos para la determinación de las principales propiedades dinámicas de los suelos del Salvador. Universidad de el Salvador. [Tesis de Pregrado]. 2009. P 4.

Hay que agregarle la importancia que tiene el suelo en la modificación de las características de un posible movimiento sísmico actuante (amplificación dinámica), dicha respuesta está controlada en gran medida por las propiedades dinámicas del suelo, siendo el módulo de corte (G) y el amortiguamiento (ξ) los principales parámetros para modelar la respuesta sísmica del suelo. La dinámica de los suelos se encarga del estudio y determinación de dichas propiedades. Probablemente este sea un tema muy señalado por muchos ingenieros civiles, pero poco se conoce del rol fundamental que juega en la caracterización del suelo cuando suceden movimientos fuertes, como los provocados por un sismo ²

1.3 PROBLEMA DE LA MECÁNICA DE SUELOS

Habitualmente los problemas que trata la dinámica de suelos tienen que ver con: la estabilidad de un talud, la capacidad de carga de una estructura, el estado natural de masa de un suelo; son análisis que se realizan suponiendo que las cargas que soportan cambian con el tiempo, cubriendo variados e importantes temas tales como³:

- Determinación de las propiedades dinámicas del suelo.
- Respuesta sísmica de depósitos y estructuras de tierra.
- Licuefacción
- Prospección del subsuelo mediante el análisis de propagación de ondas de cuerpo y de superficie.

- Fundaciones de máquinas.

² Ibid

³ Asociación Costarricense de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones [1994] Código de Cimentaciones de Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica. P. 150

- Interacción dinámica suelo-estructura
- Vibraciones en Obras viales
- Entre otros.

Alguno de los principales problemas que estudia la dinámica de suelo son:

1.4 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DEL SUELO.

Las propiedades más comunes y de aspecto relevante en la dinámica de suelos son el módulo de rigidez al corte (G) y el coeficiente de amortiguamiento los cuales se obtienen en ensayos de laboratorio y de campo en un rango amplio de deformaciones.

1.5 LICUEFACCIÓN

La licuefacción de suelos, ocurre cuando un material no consolidado (generalmente arenas) pierde su resistencia al esfuerzo cortante a causa de una vibración intensa y rápida (sismo), que rompe su estructura granular al reducir su presión inter-granular. Al iniciarse la vibración, por efecto de un sismo, el material se expande y las partículas sólidas adoptan un estado muy suelto (por pérdida del soporte mutuo entre los granos); cuando el movimiento cesa, el material tiende a compactarse bruscamente, produciendo las presiones intersticiales que causan la licuefacción⁴.

⁴ Fenómeno de Licuefacción de Suelos. Disponible en: http://www.portalarpe.com.ar/medhime20/Talleres/TALLERES%20CUIM/Taller%2013/03%20licuefaccion/que_es_la_licuefaccion_de_suelos.html [citado 24 Enero 2014]

Figura 1. Panel frontal



Fuente: Dreamstime. Disponible en: <http://es.dreamstime.com/>

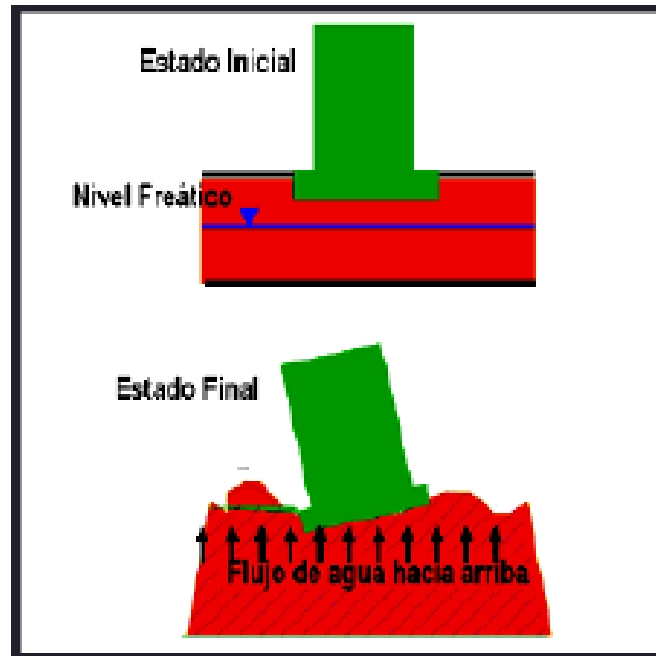
1.6 DESPLAZAMIENTOS LATERALES

Estos involucran el desplazamiento lateral de un bloque grande de suelo como resultado de la licuefacción de una capa más profunda. El desplazamiento ocurre como respuesta a una combinación de fuerzas gravitacionales e inerciales generadas por un sismo.

1.7 PERDIDA DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO.

Cuando un suelo soporta un edificio u otro tipo de estructura y sufre licuefacción y pérdida de resistencia, ocurren grandes deformaciones en la masa de suelo, las que producen asentamientos y volcamientos de las estructuras lo cual está influenciando significativamente por el nivel freático.

Figura 2. Perdida portante del suelo.



Fuente: Métodos de ensayos para la determinación de las principales propiedades dinámicas de los suelos del Salvador. Universidad de el Salvador. [Tesis de Pregrado]. 2009.

1.8 ENSAYO TRIAXIAL DINÁMICO

1.8.1 Introducción al Ensayo Triaxial Dinámico. El ensayo Triaxial dinámico o cíclico fue desarrollado por Seed y Lee en 1966 para poder determinar los patrones que controlan la licuefacción de arenas saturadas y de deformaciones de suelos, consiste en la aplicación de cargas de confinamiento y axial a una muestra de suelo, en forma cíclica tratando de simular la frecuencia y magnitud de las cargas a las cual podría estar sometida la muestra.

Es un ensayo de laboratorio, debido a su simplicidad y a la disponibilidad del equipamiento necesario, es el procedimiento de ensayo más comúnmente usado.⁵

Existen dos modalidades para realizar el ensayo, el primero consiste en aplicar al espécimen una fuerza predeterminada durante toda la prueba, el cual es comúnmente llamado, “Ensayo Triaxial Cíclico con Carga Controlada”, que se encuentra bajo la norma ASTM D 5311-92, “Método de Prueba Estándar para Fuerza con Carga Controlada usando el Aparato Triaxial Cíclico” y el segundo consiste en la aplicación de una sollicitación cíclica cualquiera, para mantener una deformación fija, denominado, “Ensayo Triaxial Cíclico con Deformación Controlada”, esta prueba se encuentra regida bajo la norma ASTM D 3999-91, “Método de Prueba Estándar para la Determinación del Módulo y Amortiguamiento del Suelo usando el Aparato Triaxial Cíclico”.

1.8.1 Ensayo de Carga Controlada. En este tipo de ensayo, se fija una tensión a aplicar, ya sea en base a ciclos regulares de carga, como irregulares, simétricos o asimétricos.

Este tipo de ensayo se emplea para el estudio del comportamiento del suelo en grandes deformaciones (fatiga de suelos cohesivos, licuefacción de suelos granulares saturados, entre otros), de igual forma se emplea este tipo de ensayo para la determinación de parámetros dinámicos (módulo de elasticidad dinámico y amortiguamiento) y el estudio de cómo evoluciona en el proceso.

⁵ O'Reilly M, Brown S, Cyclic Loading of Soils, Van Nostrand, 1991. M. Pastor, R. Blazquez, C. Olaya. Caracterización en laboratorio de las propiedades dinámicas de los suelos. Revista de obras públicas, Junio 1983, p. 423 a 432.

1.8.2 Ensayo de Deformación Controlada. Se somete el suelo a una serie de ciclos en los cuales la deformación axial varía entre un valor máximo y uno mínimo los cuales son especificados en los ensayos. Durante el ensayo se mide la carga vertical y la variación de la presión. A partir de las medidas se obtiene una curva característica ($G \leftrightarrow \gamma$ y $\lambda \leftrightarrow \gamma$) para el estudio de suelos granulares saturados y obtención de parámetros dinámicos (módulo de elasticidad y coeficiente de amortiguamiento).

1.9 TIPOS DE PRUEBAS

Los tipos de ensayos que se pueden realizar en la máquina triaxial dinámica son:

1.9.1 No Consolidado No Drenado (UU). A este ensayo se le denomina también ensayo rápido (Q), donde no se permite en ningún momento el drenaje. La probeta no es consolidada, por lo tanto, no se disipa la presión de poros durante la aplicación de la presión isotrópica de cámara σ_3 en la etapa de saturación.

Este ensayo se usa para determinar el parámetro de resistencia no drenado C_u y es adecuado para arcillas saturadas. En condiciones no drenadas, los suelos saturados presentan un esfuerzo de corte crítico que tiende a mantenerse constante para cualquier valor del esfuerzo normal. Un aumento en el esfuerzo axial ocasiona un aumento semejante en la presión de poros, por lo tanto, el esfuerzo efectivo normal permanece constante.

1.9.2 Consolidado, No Drenado (CU). Este ensayo también denominado ensayo consolidado rápido (R), consta de tres etapas (saturación, consolidación y compresión).

Primeramente, la probeta es saturada completamente de agua, luego incrementando la presión de cámara es consolidada, esta etapa lleva al suelo a un estado prescrito de volumen y de presión de poros, a partir del cual se pueden medir con exactitud los siguientes cambios de volumen o de presión de poros que ocurrirán durante el ensayo. Finalmente, cuando se ha disipado el exceso de presión de poros al valor de la contrapresión original σ_3 se cierran las válvulas de drenaje para empezar la compresión, donde la probeta llegara al punto cedente sin drenado.

El objetivo del ensayo es determinar los parámetros efectivos c' y Φ' , ya que estos gobiernan la resistencia al corte del suelo y determinar también algunas caracterizas respecto al cambio de volumen y rigidez del suelo⁶.

1.9.3 Consolidado, Drenado (CD). A este ensayo también se le conoce como ensayo lento (S). El drenaje se permite en las dos últimas etapas, de este modo se tiene una consolidación bajo la presión de cámara y el exceso de presión de poro se disipa durante la aplicación lenta del esfuerzo desviador.

En la primera etapa se satura la muestra completamente de agua, en la segunda esta es consolidada bajo una presión isotrópica de cámara y en la tercera etapa se aplica una carga axial, que va incrementando a un ritmo suficientemente lento para que no se presente un incremento en la presión de poros. Con un drenado total y una velocidad adecuada, se asegura que la presión de poros en la muestra permanezca constante, entonces el incremento en el esfuerzo efectivo es igual al incremento total ($\Delta\sigma' = \Delta\sigma$). El objetivo del ensayo es determinar los parámetros de resistencia efectiva c' y Φ' del suelo⁷.

⁶ Suelos: Ensayo triaxial consolidado drenado (CD). Disponible en: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/03/suelos-ensayo-triaxial-consolidado.html>

⁷ Campos Sigüenza, Antonio; Vásquez Huamani, Oscar. CISMID-FIC-UNI, Seminario Taller de Mecánica de Suelos y Exploración Geotécnica, 1992.

2. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

Este equipo ver figura 3 permite preparar especímenes, confinarlos, saturarlos, consolidarlos y aplicarles una carga cíclica que induce esfuerzos de corte cíclicos en planos de compresión triaxial, simulando el efecto de un movimiento sísmico y la inmediata respuesta dinámica del modelo ensayado.

El sistema de medición y adquisición de datos es electrónico, pudiéndose monitorear todo el desarrollo de la prueba de forma digital, ya sea en forma de gráficos continuos o en la computadora.

El equipo se complementa con una microcomputadora en la cual se dispone de todo el software para el procesamiento de la información obtenida en el ensayo⁸.

La cámara superior ver figura 4 es desmontable para poner la probeta a ensayar en su sitio. La celda superior intercambiable también contiene la celda de carga adjunta a la RAM que pasa por la parte superior de la cámara. Estas celdas de cargas son de 5 Kn o 20 Kn, la mayor presión capaz de soportar la cámara es de 1700 Kpa.

⁸ Ibid.

Figura 3. Máquina triaxial dinámica UIS.

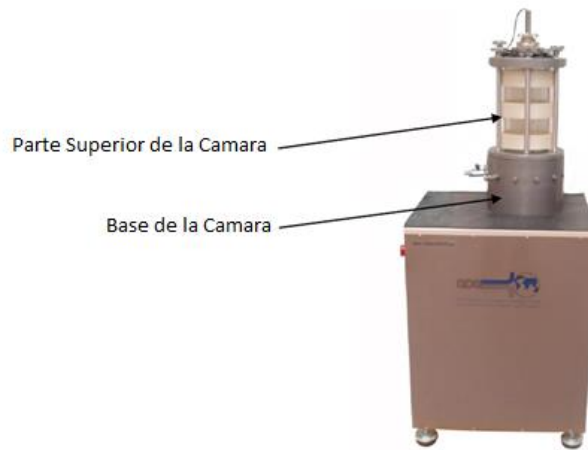


Figura 4. Cámara



2.1 BASE DE LA CÁMARA.

Figura 5. Aparato típico MINIDyn



Fuente: Advanced Dynamic Triaxial Testing System. Disponible en: <http://www.gdsinstruments.com/gds-products/advanced-dynamic-triaxial-testing-system>

2.2 CELDAS DE CARGAS SUMERGIBLES INTERNO:

Figura 6. Celda de carga



Fuente: Internal Submersible Load Cells. Disponible en: <http://www.gdsinstruments.com/gds-products/internal-submersible-load-cells>

GDS tiene 3 tipos de celdas de cargas sumergibles que ha sido diseñado para medir las cargas de compresión de 0,5 a 100 KN y pueden ser instalados en cámaras triaxiales nuevas o existentes. Tiene una característica única, ya que la presión no afecta a la lectura, por lo tanto correcciones sobre la fricción del pistón no tiene que hacer en la carga⁹.

2.3 ANILLOS DE ACCESO

Figura 7. Anillo de acceso



Fuente: Access Rings. Disponible en: <http://www.gdsinstruments.com/gds-products/access-rings>

El anillo de Acceso GDS Transductor se suministra con tapones de cierre y los pernos de fijación. El anillo de acceso está disponible con hasta 12 puertos y viene en rangos de tamaño de 76 mm a 300 mm. Este anillo permite el acceso fácil para la medición de la deformación local, transductores de presión de poros, conexiones hidráulicas o eléctricas usando “pasantes”. El anillo también dará acceso a altura adicional para el uso de celdas de cargas internas y dispositivos de prueba, sin la necesidad de modificar la celda triaxial¹⁰.

⁹ Internal Submersible Load Cells. Disponible en: <http://www.gdsinstruments.com/gds-products/internal-submersible-load-cells>

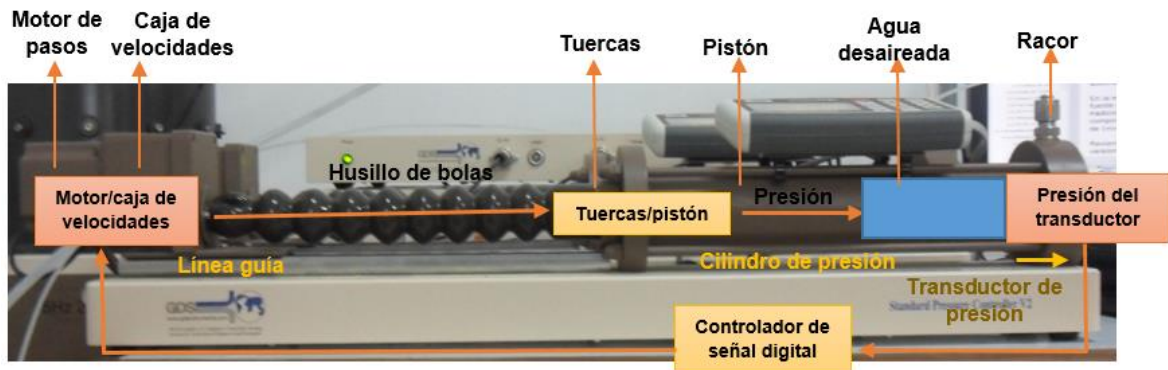
¹⁰ Access Rings. Disponible en: <http://www.gdsinstruments.com/gds-products/access-rings>

2.4 CONTROLADOR PRESIÓN/VOLUMEN STANDARD (STDDPC) V2:

El controlador GDS Presión/Volumen Standard (STDDPC) es un dispositivo polivalente que permite controlar la presión del agua y la variación del volumen. Fue creado para ser usado en laboratorios comerciales de mecánica de suelos y para centros de enseñanza. Un motor paso a paso y un tornillo sin fin activan un pistón, que presuriza directamente el agua ver figura 8.

La presión se regula mediante un control en lazo cerrado. La variación del volumen se mide a una resolución de 1mm^3 (0,001 cc), contando los pasos del motor.

Figura 8. Controlador Presión/Volumen Standard (STDDPC) V2



El STDDPC, que trabaja generalmente a 3MPa/200cc, es una alternativa económica a las fuentes de presión y sistemas de medidas de variación del volumen de los laboratorios convencionales de mecánica de suelos. El dispositivo cuenta con un puerto USB para ser conectado al ordenador y ser controlado directamente por este. Es perfecto como fuente de presión de cola y mide también

la variación del volumen de la probeta. Cuenta con un sistema de seguridad automático contra las sobrepresiones y variaciones de volumen excesivas.

En la modalidad de funcionamiento automático, el dispositivo se convierte en una fuente de presión constante, con capacidad para sustituir a las fuentes de presión tradicionales de los laboratorios tales como la columna de mercurio, el aire comprimido, etc. También permite medir la variación del volumen a una resolución de 1mm^3 (0,001cc).

Recientemente actualizado a la version2, cuenta con las siguientes ventajas sobre versiones anteriores:

- Conexión USB
- Mayor rapidez en el llenado y en el vaciado, así como en la obtención de la presión definida por el usuario
- Más ligero y compacto

El dispositivo puede ser controlado por PC o, de modo autónomo, a través del teclado inteligente¹¹.

La siguiente figura muestra la conexión básica del sistema:

¹¹ Catálogo GDS Instruments. Disponible en: www.gdsinstruments.com/product_catalogue_ES

Figura 9. Conexión básica del Controlador Presión/Volumen Standard (STDDPC) V2



2.4.1 Códigos LED. La luz amarilla, cuando está encendida, significa que el controlador está activo (esto no debería estar normalmente encendida sin activarse).

La luz verde representa que la conexión con CAN Bus Datos es transmitida y recibida por el controlador.

La luz roja se enciende cuando se produce un error de algún tipo - de un modo intermitente significa que un error se produce constantemente. Errores potenciales pueden ser debido a¹²:

1. Ha sido ignorado paquete - un error de CRC de un paquete recibido UART (USB).
2. Error CAN Bus
3. Error End-Stop (es decir, End-Stops se encuentran en un estado, por ejemplo, imposible tanto End-Stops se ha disparado de forma simultánea).

¹² Manual Maquina Triaxial Dinámica

4. CAN-Bus transmitir FIFO sin espacio (desbordamiento) - paquetes a transmitir se han perdido
5. UART (USB) transmitir FIFO sin espacio (desbordamiento) - paquetes a transmitir se han perdido
6. UART Recibido (USB) Enmarcando Error
7. UART Recibido (USB) Error de desbordamiento – algunas características de seriales de transmisión al dispositivo se han perdido.

Los LEDs están etiquetados A, B y C en la parte posterior del controlador. Si corresponde con GDS en un problema por favor referirse a ellos por tanto en la letra y el color de la máxima información¹³.

Figura 10. Conector STDDPC e indicador de detalles



¹³ Ibid.

2.5 EL TECLADO INTELIGENTE:

Figura 11. Teclado inteligente y sus principales funciones.



El teclado inteligente permite el funcionamiento autónomo del controlador de presión estándar. Incorpora un teclado de 16 teclas y una pantalla LED con Angulo de visión de 180° para una visualización clara y fácil de información del controlador. Proporciona una interfaz totalmente controlada por menús para el control fácil e intuitivo del controlador¹⁴:

- El botón rojo de parada que se puede usar para detener, cualquier usuario inicia el movimiento en el dispositivo, y cuando se mantiene pulsado, y cuando se mantiene pulsado reiniciara completamente el dispositivo.
- El botón de comando (CMD) del menú, mediante el cual se accede al menú de comandos rapados.
- El botón Menú principal que se puede usar para acceder a todos los menús y funciones del sistema.

¹⁴ Ibid.

- El botón Cancelar que se utiliza para cerrar las ventanas abiertas.
- El botón que se utiliza para navegar por los menús Arriba/ Abajo/ Izquierda/ Derecha.
- También tenga en cuenta los accesos directos del menú escritas debajo de las teclas.

La pantalla principal se compone de varias informaciones de los parámetros medidos - es decir, la presión actual, etiquetada "Pressure", el volumen medido etiquetado "volume", el objetivo actual denominado "Target" y el estado del controlador, con la etiqueta "status" - véase la figura 12¹⁵.

Figura 12. Display del teclado inteligente.



2.5.1 Sistemas de eventos y barra de información. Los eventos del sistema se muestran en la barra de información (ver Figura 12), así como el registro de eventos. Si no hay ningún evento en curso en la lista, la barra de información mostrará el tipo de dispositivo al que el teclado inteligente está conectado, en el caso actual "DPC Estándar".

¹⁵ Ibid.

Cuando se produce un evento del sistema, se le dará un aviso acústico y el evento del sistema se mostrará en la barra de información y se agregará al registro de eventos. Tenga en cuenta que sólo el caso más reciente se muestra en la barra de información.

El mensaje de sucesos del sistema actual se puede eliminar presionando el botón CANCELAR dos veces (una vez para eliminar el actual comando rápido de acceso directo y luego una segunda vez para eliminar el mensaje de suceso de la barra de información).

Sistema de sucesos suelen mostrar advertencias, por ejemplo, se ha llegado a un evento de sobrepresión sobre o End-Stop. Muchos de estos eventos harán que el comando actualmente activo cese y el controlador se detenga inesperadamente, el motivo por lo general aparece en la barra de información.

Eventos del sistema más comunes son¹⁶:

- Sobrepresión
- Despresurización
- Mínimo volumen
- Máximo volumen

2.5.2 Comando MENÚ. Al presionar el botón MENU se observan todas las funciones del sistema como: configurar menú de volumen o presión, menú de llenado o vaciado, menú de presión de compensación, rampa o ciclo y menú del sistema ver figura 13.

Para seleccionar la opción deseada utilice los botones 2 y 8 luego oprima el botón enter.

¹⁶ Ibid.

Figura 13. Menú.



2.5.3 System Menu

Figura 14. Lista despegable de la lista de Menu.



MENU proporciona una lista de opciones en una ventana desplazable (consulte la figura 14). La selección de la lista actual se puede cambiar con las teclas: Arriba (8) y Abajo (2). Una vez que la opción deseada ha sido elegida pulse el botón verde o enter para seleccionar esa opción.

2.5.4 Entrada de diálogos numéricos

Figura 15. Dialogo de entrada numérica.



con el fin de introducir un número, se utilizan las teclas 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9 ./-.

Para introducir números negativos o decimales se utiliza la tecla ./-. Esta tecla es sensible al contexto y automáticamente determina si se requiere un signo menos o decimal - por ejemplo, para introducir el número -50 primero se oprime la tecla ./- seguida del número 50. Mientras que para -0.5 se presiona la tecla ./-, luego 0, ./-, 5.

Una vez que el número ha sido ingresado pulse el botón verde o enter para confirmar.

Si es necesario, borrar el número se optime el botón CANCELAR <- botón (retroceso).

2.5.5 Accesos directos

Figura 16. Atajos y comandos rápidos.



El área de comando rápido o atajo (figura 16) muestra el acceso directo actual o comando rápido que se ejecutará si se pulsa el botón verde.

A continuación, se muestra la lista de comandos rápidos:

- **7 (Modo)** - Fijar de presión / volumen / Velocidad de flujo
- **8 (Aplicar)** - Aplicar presión de compensación Offset
- **9 (Deshacer)** – Elimina la presión de compensación Offset
- **4 (Fijar máximo)** - Establece los límites máximos de los usuarios para la presión / volumen
- **5 (Máximo lento)** - Volumen máximo lento (Slow Fill) llenado lento del controlador
- **6 (Máximo rápido)** - Volumen máximo Rápido (Fast Fill) llenado rápido del controlador
- **2 (Mínimo lento)** - volumen mínimo lento (Slow vacío)
- **3 (Mínimo rápido)** – Volumen mínimo rápido (Fast Empty)

- **1 (Fijar mínimo)** - Establecer límites de usuario mínimos de presión / volumen
- **0 (Restauración)** - Muestra el menú de restauración
- **./- (Desbloquear)** - Ver el Bloqueo / Desbloqueo del menú
- **CANCELAR** - eliminará el estado actual de comando rápido

2.5.6 Menú de comando CMD. El menú de comandos está diseñado para facilitar el acceso a las funciones más utilizadas en el controlador.

Al pulsar el botón de comando "CMD" hará que la primera pantalla del menú de comandos se muestre (véase la Figura 17a). Al pulsar el botón CMD por segunda vez, hará que la segunda pantalla del menú de comandos aparezca (ver Figura 17b).

Figura 17. a) Menú de comandos 1 de 2, b) Menú de comandos 2 de 2



Para seleccionar un comando desde el menú de comandos simplemente pulse la tecla que aparece en la columna de la derecha, por ejemplo, para configurar la presión objetivo “target pressure” de la lista de comandos 1 sólo tiene que pulsar la tecla "7" o para iniciar una operación de llenado rápido dar click en la tecla "6".

- **Presión objetivo (tecla 7)**

Figura 18. Presión objetivo



Cuando se solicita el comando presión objetivo (7) se muestra el cuadro de diálogo para ingresar el valor de la presión. Se introduce la presión objetivo y luego se pulsa el botón verde o enter, esto ordena al controlador comenzar la búsqueda de la presión solicitada.

- **Volumen Objetivo (tecla 4)**

Figura 19. Volumen objetivo



Cuando se solicita el comando de volumen objetivo (4), se muestra el cuadro de diálogo para ingresar el valor del volumen. El volumen se introduce y luego se pulsa el botón verde o enter, esto ordenara al controlador comenzar la búsqueda del volumen solicitado.

- **Llenado rápido (tecla 6)**

El comando Fast Fill hace que el controlador se llene a su velocidad máxima de paso, la operación de llenado se detendrá automáticamente cuando alcance el límite máximo. En este momento el pistón quedara extendido hacia atrás.

- **Vaciado rápido (tecla 3)**

El comando vacío rápido se utiliza para que el controlador se vacíe a su velocidad máxima. La operación de vaciado se detendrá automáticamente cuando alcance el volumen mínimo.

- **Aplicar presión de compensación (tecla 8)**

El comando de aplicar presión de compensación se utiliza para colocar en 0 la lectura de la presión actual, tenga en cuenta que, mediante la adición de un desplazamiento de la presión, toda lectura ahora será compensada hasta que esto se elimine. El desplazamiento actual será recordado incluso si el controlador se apaga o reinicia y sólo se puede eliminar mediante el uso del comando “Removed pressure Offset Comand”.

- **Lectura de volumen cero (tecla 5)**

El comando lectura de volumen cero hace que la lectura actual del volumen se ajuste a cero. Tenga en cuenta que, a diferencia de presión de compensación, este desplazamiento no puede ser eliminado como lecturas de volumen, se consideran relativos y no absolutos.

- **Eliminar presión de compensación (tecla 9)**

El comando de eliminar presión de compensación se utiliza para eliminar una presión de compensación aplicada anteriormente. Este comando sólo está disponible en el teclado inteligente si hay una compensación aplicada. Si no está aplicada a continuación, esta opción aparecerá en gris.

- **Establecer Caudal (tecla 7, después de pulsar el botón CMD dos veces)**

En esta ventana podrá estipular un caudal en mm^3 / s . Para llegar a este comando rápido, simplemente pulse la tecla CMD dos veces para llegar a la segunda pantalla y luego la tecla 7.

- **Menú del sistema (tecla 0)**

Pulsando la tecla 0 después de pulsar la tecla de comando (CMD), se mostrará el menú de sistema. Hay una serie de menús que se puede acceder desde el menú del sistema, incluyendo el menú de límites y la ficha de diagnóstico.

2.6 SISTEMA DE CONTROL DIGITAL DE ADQUISICIÓN DE DATOS GDS

Figura 20. Sistema de Control Digital de Adquisición de Datos GDS



Los sistemas dinámicos de GDS son todos basados alrededor de la alta velocidad de sistema de Control Digital de GDS (GDSDCS) con retroalimentación de circuito cerrado de carga y desplazamiento.

Con adquisición de datos de 16 bits (A, D) y salida de control de 16 bits (D/A), el GDSDCS funciona a una frecuencia de control de 10kHz por canal. Esto significa que cuando ejecuta a 10Hz el sistema utiliza 1000 puntos por ciclo. Cuando se ejecuta en 1Hz, usa 10000¹⁷.

Tabla 1. Adaptada Manual Maquina Triaxial Dinámica

| Color | Canal | Nombre transductor | Estándar de ganancia fija | Estándar escala canal (mV) |
|----------|-------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Negro | 0 | Celda de carga | X333.33 | 30 |
| Marrón | 1 | Axial local 1 | X10 | 1000 |
| Rojo | 2 | Axial local 2 | X10 | 1000 |
| Naranja | 3 | Radial local | X10 | 1000 |
| Amarillo | 4 | Presión de poros de agua | X100 | 100 |
| Verde | 5 | Presión de poros 2 | X100 | 100 |
| Gris | 6 | Repuesto 1 | X1 | 10000 |
| Blanco | 7 | Repuesto 2 | X1 | 10000 |

2.7 SOFTWARE GDSLAB

El software GDSLAB permite controlar y adquirir datos de los ensayos geotécnicos. Además de integrar todo el hardware GDS, permite el uso de dispositivos y equipos de otros fabricantes. El software GDSLAB supone un avance en el control de ensayos geotécnicos, sirve para ensayos triaxiales, CBR, ensayos de corte directo o simple, consolidación uniaxial, etc.

¹⁷ DYNNTTS-datasheet.pdf

Figura 21. GDSLAB Software de control y adquisición de datos.



Fuente: Catálogo. GDS Instruments. Disponible en: www.gdsinstruments.com/product_catalogue_ES

El software GDSLAB se puede integrar en el nuevo laboratorio o en el ya existente y sirve para la adquisición de datos y el control de ensayos tradicionales y avanzados de suelos y rocas. Con los módulos apropiados, se pueden realizar ensayos desde elementales a los de investigación. Y, además, el equipamiento fabricado por otras empresas puede ser controlado por el GDSLAB.

Alternativamente, cuando no es posible el control por ordenador del equipo de ensayo, el software GDSLAB también permite la adquisición de datos a partir del equipo existente y la presentación de estos con el GDSLAB Boletines de ensayo¹⁸.

¹⁸ Catálogo GDS Instruments. Op. Cit.

2.8 TOP-CAP

Figura 22. Top-Cap y Goma plástica



Fuente: Catálogo. GDS Instruments. Disponible en:
www.gdsinstruments.com/product_catalogue_ES

Disponible en tamaños estándar de 38mm, 50mm, 70mm, 100, 150mm para la mayoría de las celdas triaxiales, otros sistemas pueden ser limitados en la gama de tamaños disponibles¹⁹.

El conjunto de top-cap superior contiene:

- 1 Top-Cap para las pruebas drenadas
- 1 Top-Cap para las pruebas sin drenar
- Extensión top-Cap
- 1 Manga plástica

¹⁹ Topcap and Pedestal. Disponible en: <http://www.gdsinstruments.com/gds-products/topcap-and-pedestal>

2.9 KIT DE PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Figura 23. Kit Accesorios para la preparación de la muestra



Fuente: Catálogo. GDS Instruments. Disponible en:
www.gdsinstruments.com/product_catalogue_ES

El kit GDS para la preparación de la muestra es un accesorio esencial para cualquier persona poder construir una muestra. El kit de preparación viene en una gama de tamaños. Los tamaños estándar son de 38, 50, 70 y 100 mm²⁰.

Contiene:

- Molde dividido en 3 partes
- Molde dividido en 2 piezas
- Soporte con Manga de aspiración
- Membranas para cubrir la muestra
- O-rings
- Discos Porosos

Los Kits Varían en función del sistema.

²⁰ Sample Prep Kit. Disponible en: <http://www.gdsinstruments.com/gds-products/sample-prep-kit>

3.10 MANGUERA HIDRÁULICA

Figura 24. Tuberías hidráulicas para conexiones.



Fuente: Catálogo. GDS Instruments. Disponible en:
www.gdsinstruments.com/product_catalogue_ES

GDS suministra una gama de tubos hidráulicos y los conectores para su uso con equipos de prueba geotécnica. Los tamaños estándar disponibles son de 8 mm de nylon y tubería de nylon de 1/8”²¹.

2.11 KIT DE CONEXIONES HIDRÁULICAS

Figura 25. Kit de conexiones hidráulicas.



Fuente: Catálogo. GDS Instruments. Disponible en:
www.gdsinstruments.com/product_catalogue_ES Contenido²².

²¹ Hydraulic Tubing. Disponible en: <http://www.gdsinstruments.com/gds-products/hydraulic-tubing>

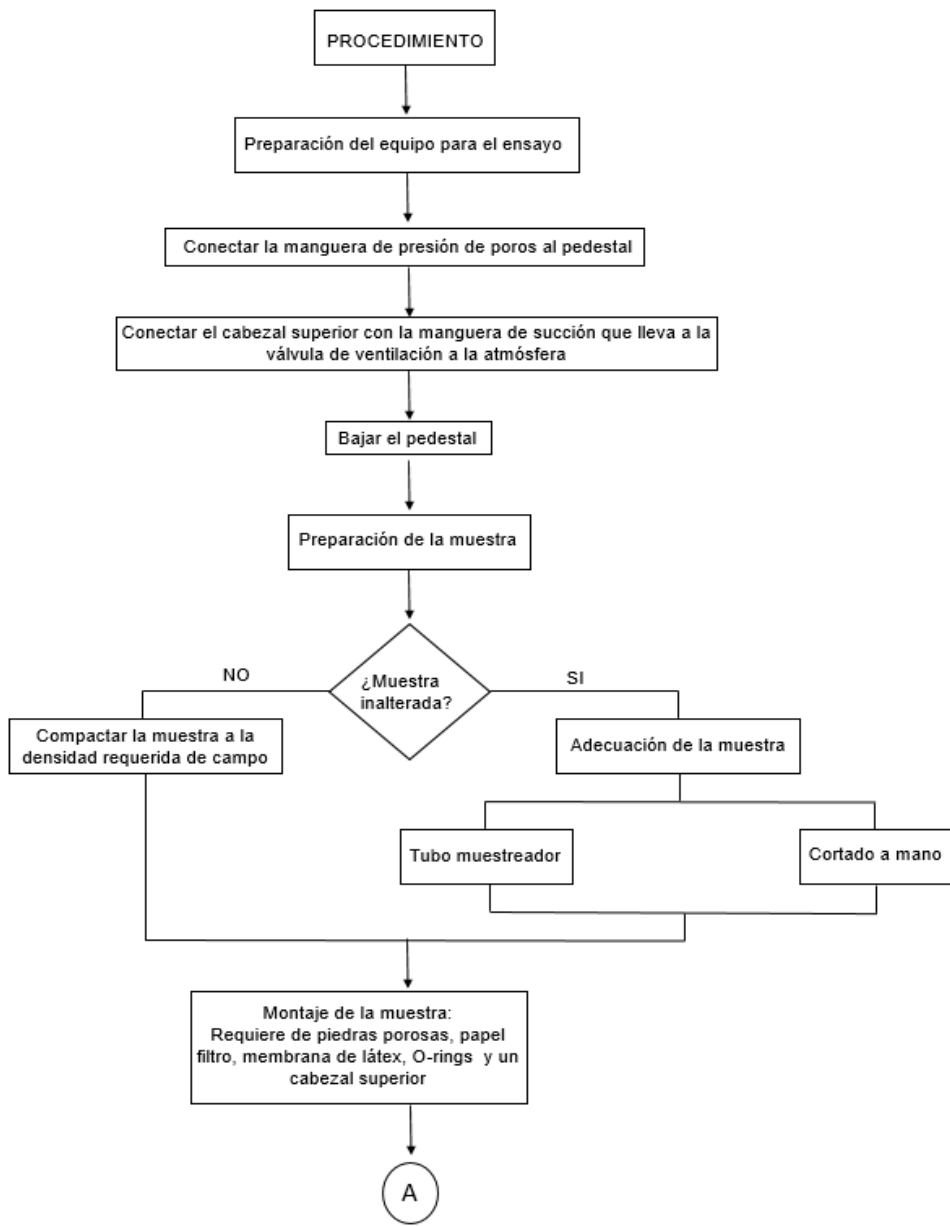
²² Hydraulic Connector Kit. Disponible en: <http://www.gdsinstruments.com/gds-products/hydraulic-connector-kit>

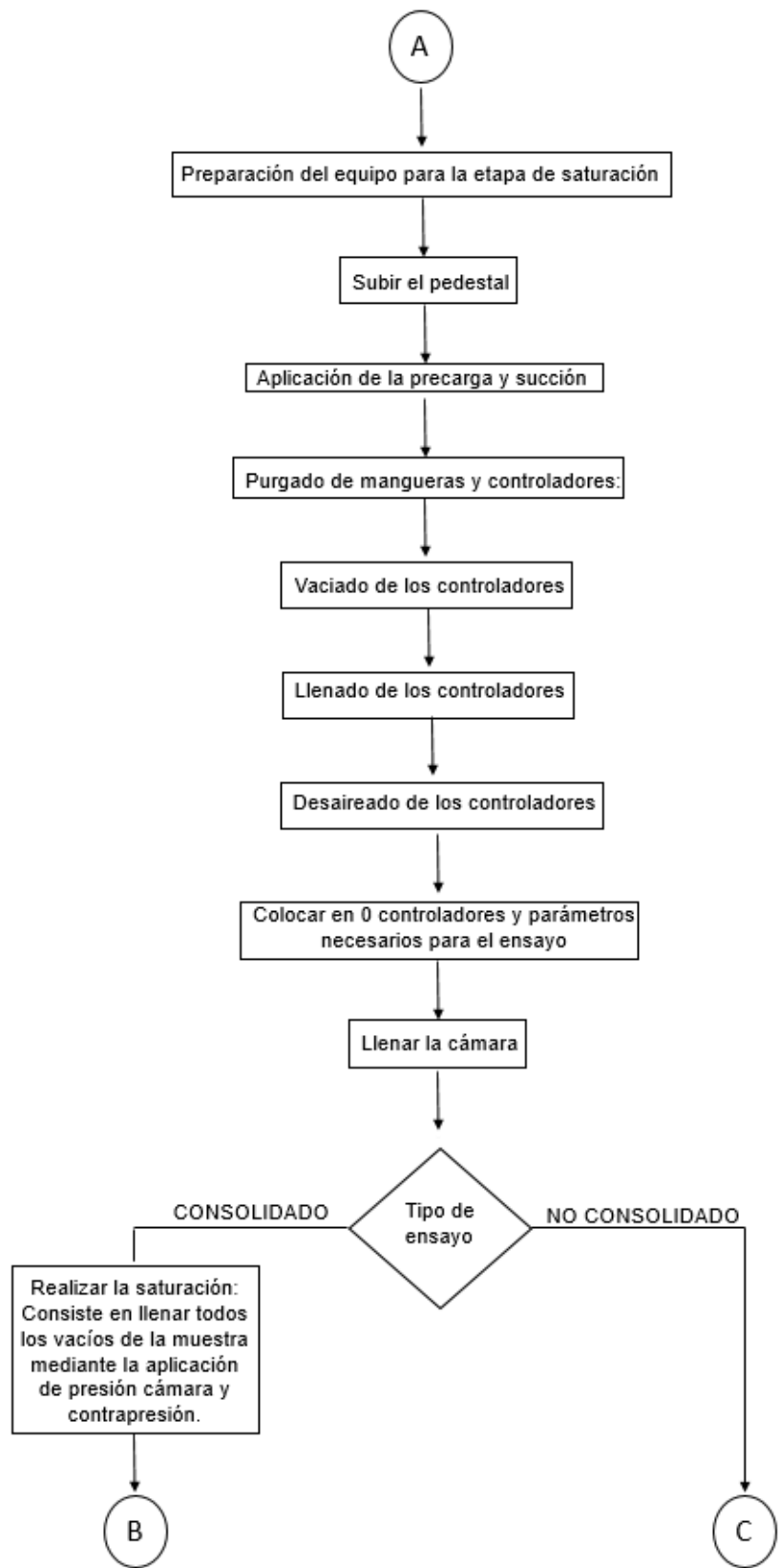
- Tubo de nylon de 1/8”.
- Tubería de nylon de 8mm.
- Loctite 542.
- Tubo de grasa de silicona.
- Cortador de Legris.
- Tuercas de 8mm para confección de tubos.
- Tuercas de 1/8” para confección de tuberías.
- Ferrel de 8 mm y Anillos de refuerzo para la fabricación de tubos.
- Ferrel de 1/8” y Anillos de refuerzo para la fabricación de tubos.
- ‘T’ Roja más Tapón de 8mm Legris.

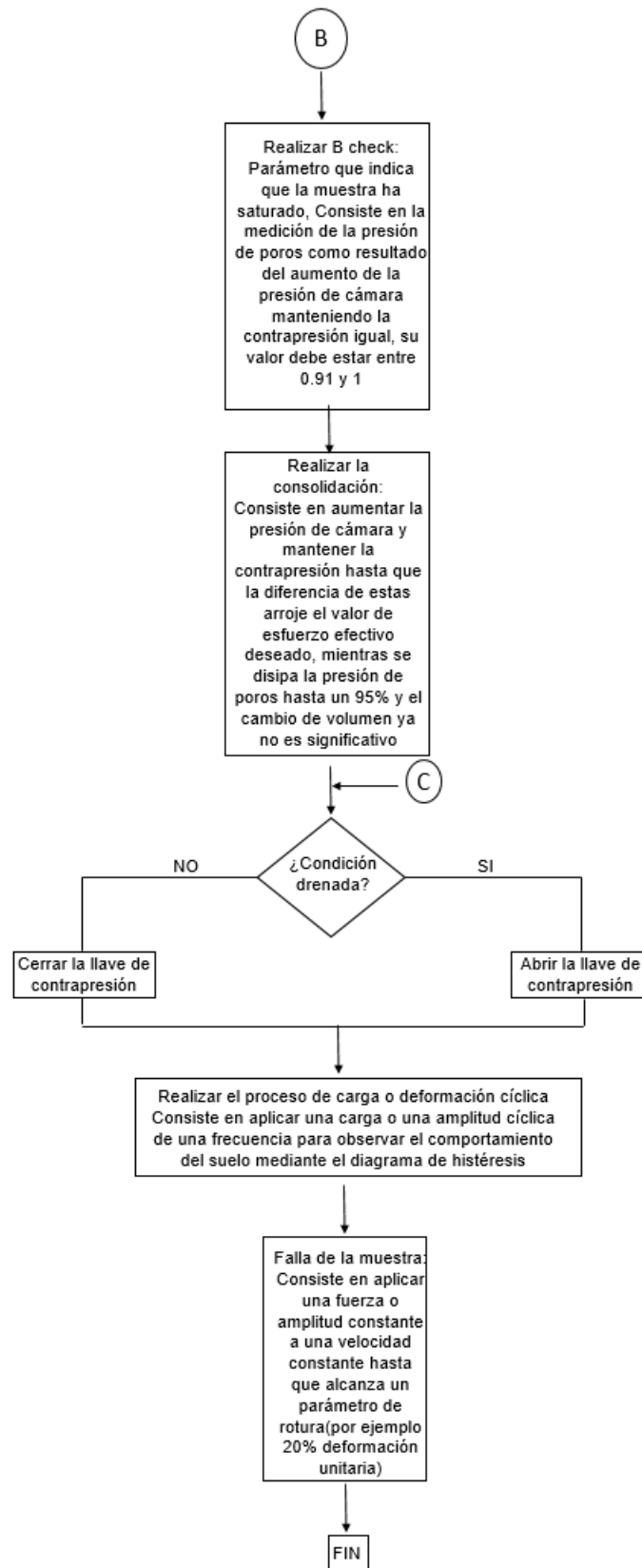
3 PROCEDIMIENTO

En la figura 26 se muestran los pasos para realizar el ensayo triaxial dinámico.

Figura 26. Procedimiento ensayo triaxial dinámico.







3.1 PREPARACIÓN DEL EQUIPO PARA EL ENSAYO

Lo primero que se debe hacer es conectar el equipo a la fuente de electricidad como se muestra en la figura 27

Figura 27. Conexión del equipo



Luego se debe encender el actuador, para esto se gira la perilla tal como se muestra en la figura 28

Figura 28. Encendido del actuador



Nota: recuerde mantener el botón de emergencia correctamente como se indica en la figura 30 a).

Figura 29. Botón de emergencia

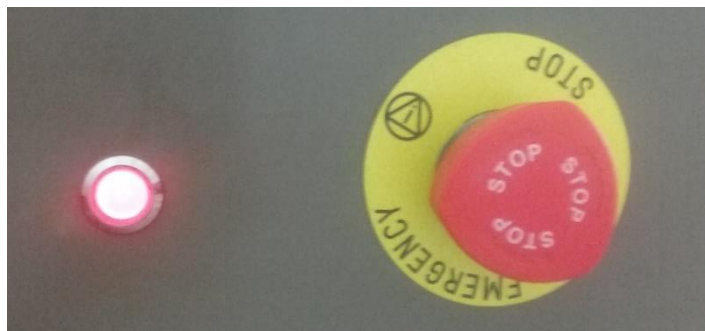


Figura 30. a) Manera correcta b) Manera incorrecta



Encienda las cajas de adquisición de datos como se muestra en la figura 31 de tal manera que se enciendan los bombillos de power figura 32.

Figura 31. Botones de las cajas de adquisición de datos encendidos



Figura 32. Cajas de adquisición de datos encendidas



Encienda los controladores de presión como se muestra en la figura 33 de tal manera que se enciendan figura 34.

Figura 33. Botón del controlador de presión encendido

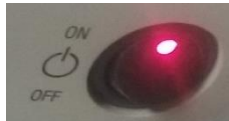


Figura 34. Controlador de presión encendido



Por último se debe escoger el diámetro de la muestra con la que se va a trabajar, para saber que pedestal le corresponde de acuerdo a su diámetro, para este caso se escogieron muestras de 5 cm de diámetro, en la figura 35,36,37 se muestran los pedestales disponibles para 10 cm y 5 cm de diámetro además del equipo sin pedestal.

Figura 35. Pedestal para muestras de diámetro 10 cm.

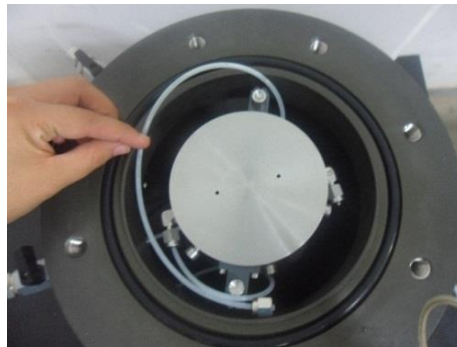


Figura 36. Pedestal para muestras de diámetro 5 cm.

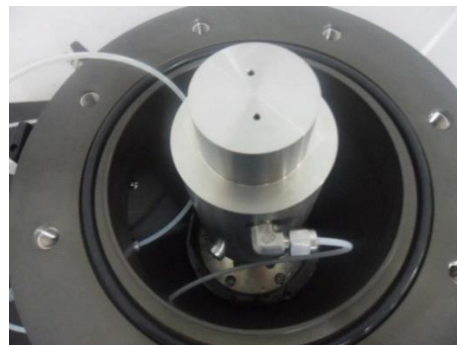
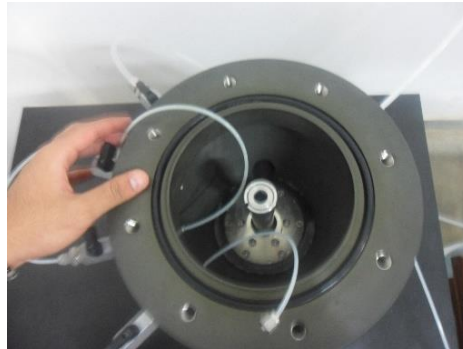


Figura 37. Equipo sin pedestal.



Para instalar el pedestal se debe introducir el pedestal por el soporte como se indica en las figuras 38,39 y 40.

Figura 38. Instalación del pedestal

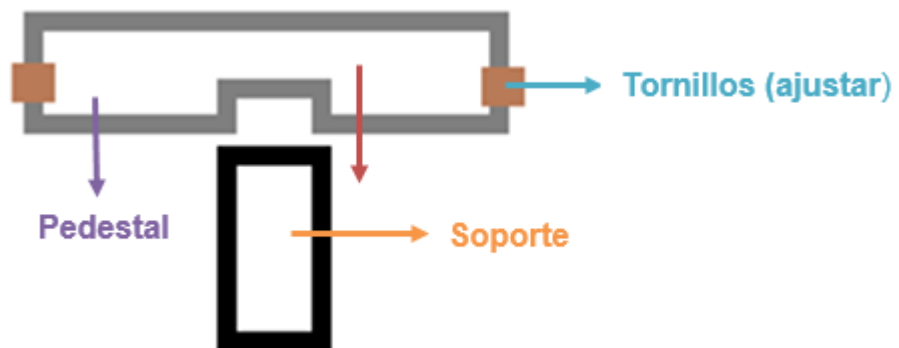
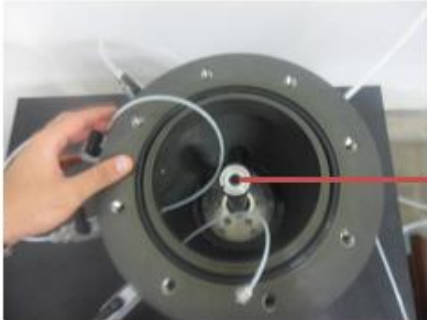
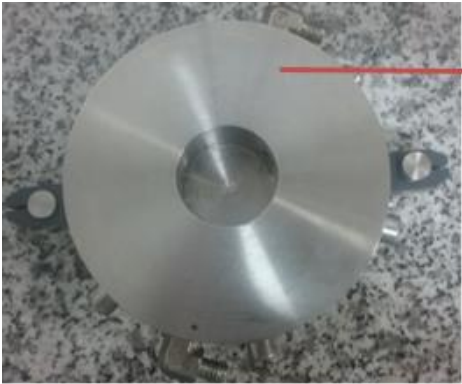


Figura 39. Soporte y pedestal



Soporte



Pedestal

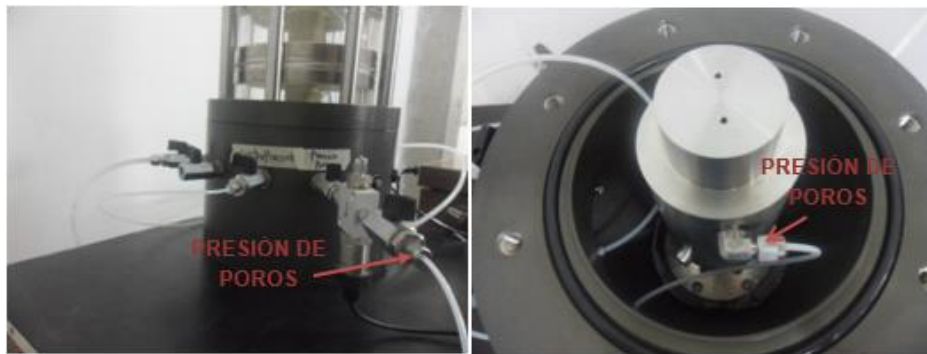
Figura 40. Tornillos que se deben ajustar en pedestal de muestra de 10 cm y 5 cm de diámetro respectivamente



NOTA: para mayor facilidad subir el pedestal ver 4.3.1

3.1.1 Conectar la manguera de presión de poros al pedestal. Conectar la manguera de presión de poros al pedestal como se observa en las figuras 41, para poder medir la respuesta del suelo (presión de poros) cuando se realice cada etapa del ensayo triaxial dinámico bajo las normas ASTM 3999 y ASTM 5311.

Figura 41. Conexión manguera de presión de poros al pedestal.



NOTA: se debe colocar un tapón donde no se conecta la manguera de presión de poros al pedestal.

Figura 42. Conexión manguera de presión de poros al pedestal.



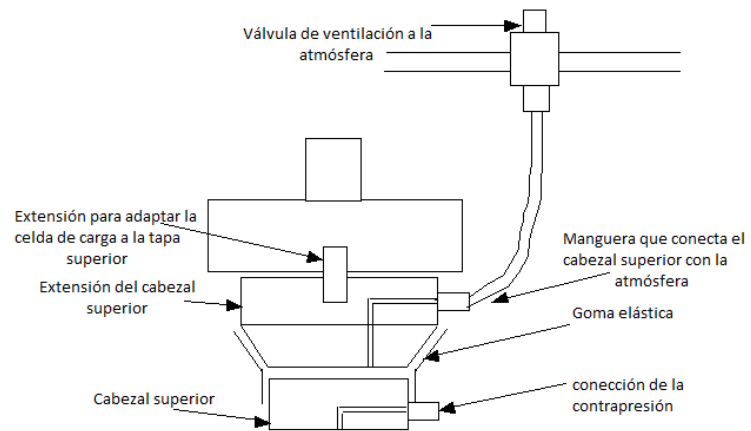
3.1.2 Conectar el cabezal superior con la manguera de succión que lleva a la válvula de ventilación a la atmósfera

3.1.2.1 Instalación interna de la cámara: Se debe realizar la conexión de la manguera de succión de la cámara figura 43 al cabezal que lleva a la válvula de ventilación a la atmósfera tal como lo muestra el detalle de la cámara en la figura 44, porque a través de esta se succiona el aire para ajustar la goma elástica, obteniendo como resultado la figura 45.

Figura 43. Cámara

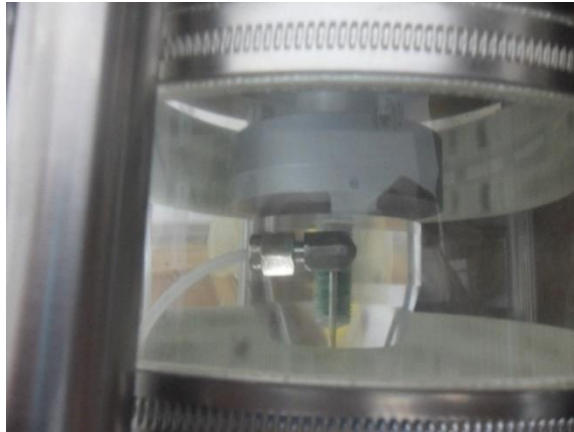


Figura 44. Detalle de la conexión interna de la Cámara.



Fuente: White Paper: Dynamic Triaxial Testing. Disponible en:
<http://www.gdsinstruments.com/information/white-paper-dynamic-triaxial-testing>

Figura 45. Conexión manguera de succión al cabezal unido a la cámara.



3.1.3 Desbloquear los controladores. Cuando los controladores están bloqueados como se observa en la figura 46 se deben seguir los siguientes pasos para desbloquearlos:

Figura 46. Controlador de presión bloqueado.



- ✓ Oprimir CMD, y luego digitar 0 este corresponde a la opción system menú, por último, oprimir el botón verde.

Figura 47. Primer paso para el desbloqueo del controlador de presión.



- ✓ Con 2 baja y con 8 sube, seleccionar del menú la opción Lock/Unlock y se oprime el botón verde

Figura 48. Segundo pasó para el desbloqueo del controlador de presión.



- ✓ Seleccionar la opción Unlock Device y luego se oprime el botón verde.

Figura 49. Tercer paso para el desbloqueo del controlador de presión.



✓ Por último, se oprime el botón verde

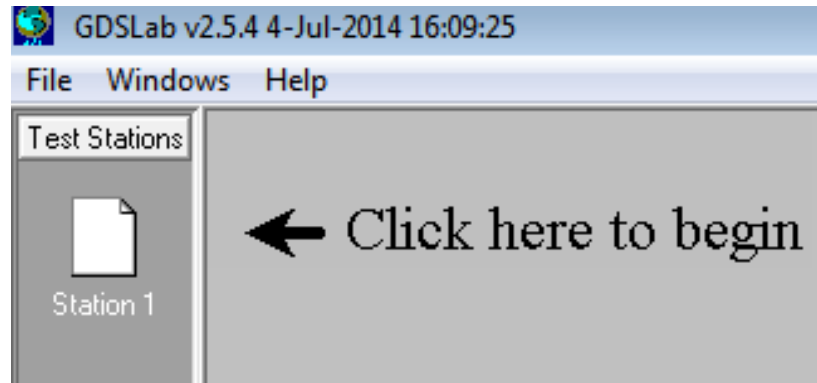
Figura 50. Cuarto pasó para el desbloqueo del controlador de presión.



3.1.4 Inicio programa GDS

✓ Al iniciar se observa la siguiente imagen:

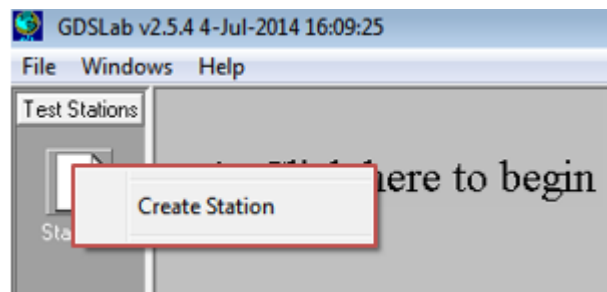
Figura 51. Inicio del programa GDS.



Se debe crear una estación para esto:

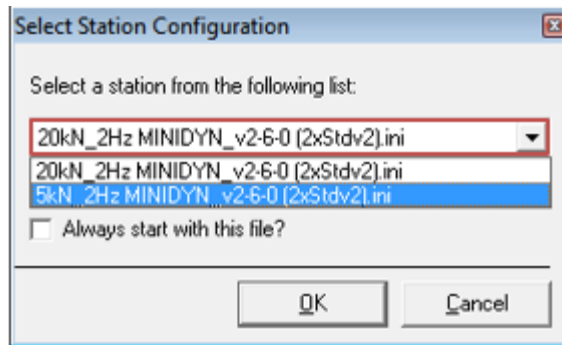
- ✓ Dar click en la hoja en blanco y en la opción Create_Station

Figura 52. Creación de una estación.



- ✓ Escoger la celda de carga a usar (20Kn o 5Kn)

Figura 53. Escoger la celda de carga.



- ✓ Se observa que se ha creado la estación.

Figura 54. Estación creada.



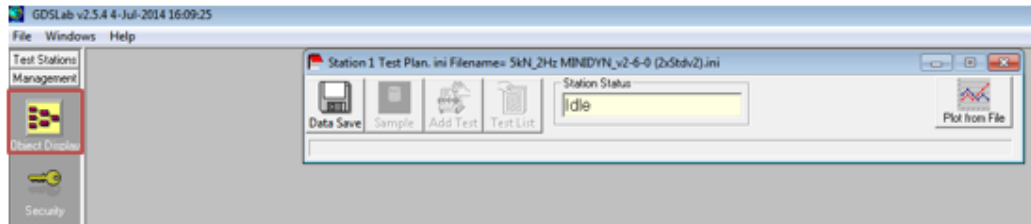
- ✓ Dar click en la parte inferior en management

Figura 55. Management.



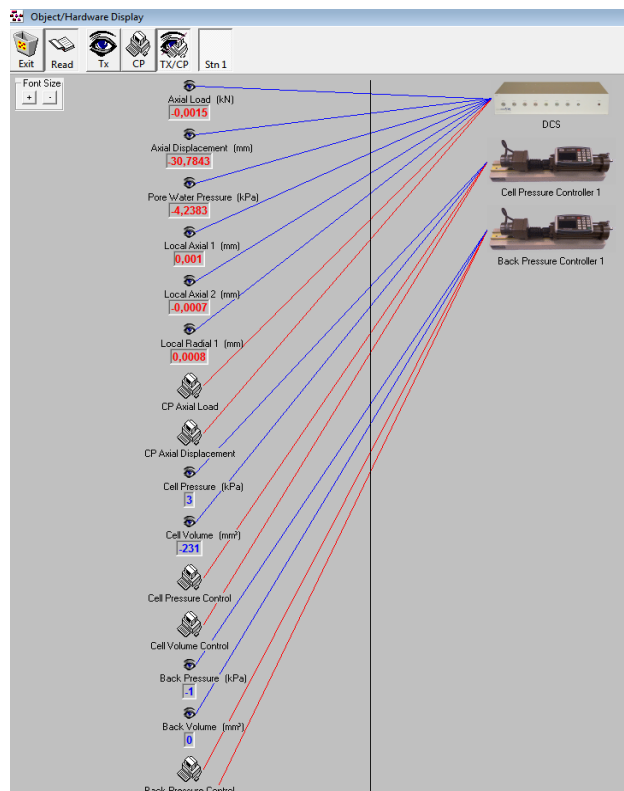
- ✓ Aparece la siguiente imagen: dar click en Object Display

Figura 56. Object Display.



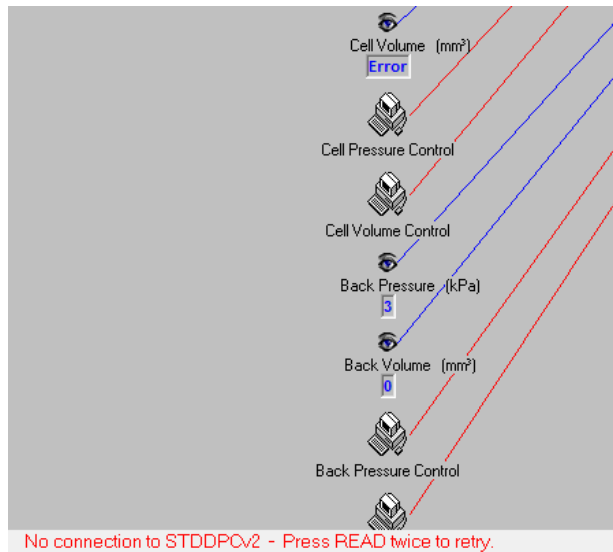
✓ Dar click en Read y TX/CP.

Figura 57. Imagen obtenida al dar click en TX/CP y Read.



NOTA: revisar que no existan errores, esto ocurre cuando aparece la palabra error, o cuando aparecen mensajes en la parte inferior figura 58.

Figura 58. Ejemplo de errores



Recordar: las líneas azules conducen a iconos que leen valores mientras las líneas rojas conducen a iconos donde se ingresan valores.

3.1.5 Bajar el pedestal. Siempre debe bajarse el pedestal para montar la muestra, hasta que aparezca el error que aparece en la figura 62, porque si no, al colocar la cámara esta podría aplicarle una carga a la muestra y fallarla, dado que es muy pesada.

Para bajar el pedestal se siguen los siguientes pasos:

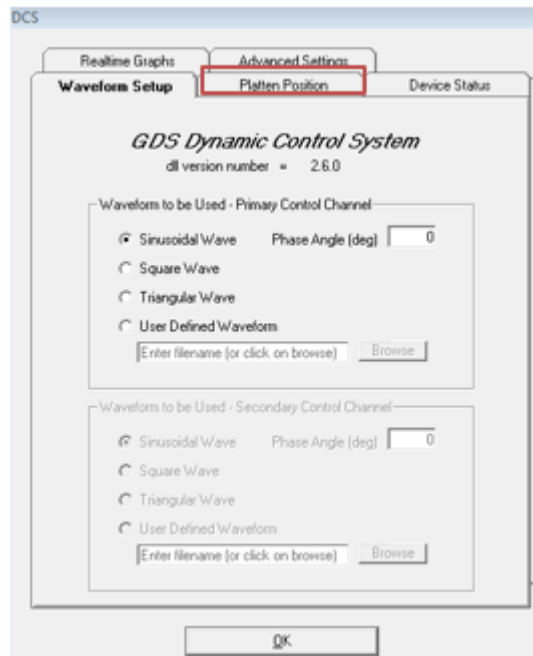
- ✓ Dar click en DCS

Figura 59. Módulo DCS.



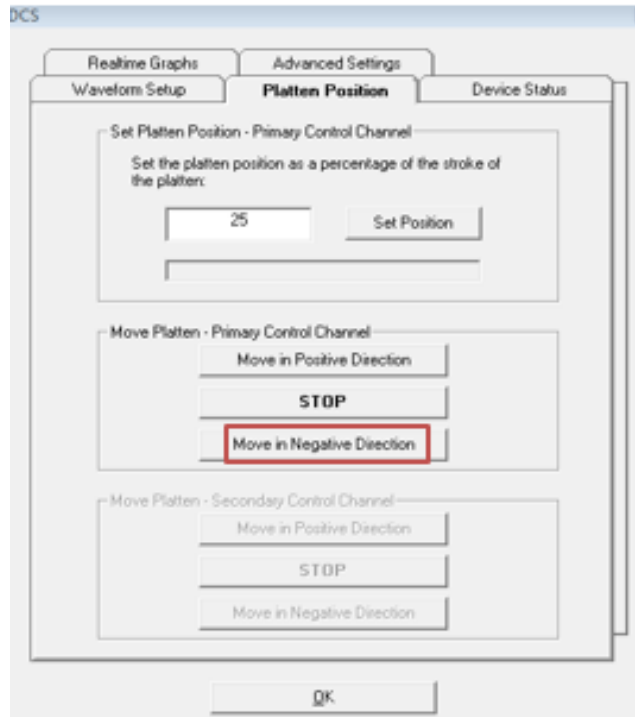
✓ Luego dar click en Platten Position

Figura 60. Platten Position.



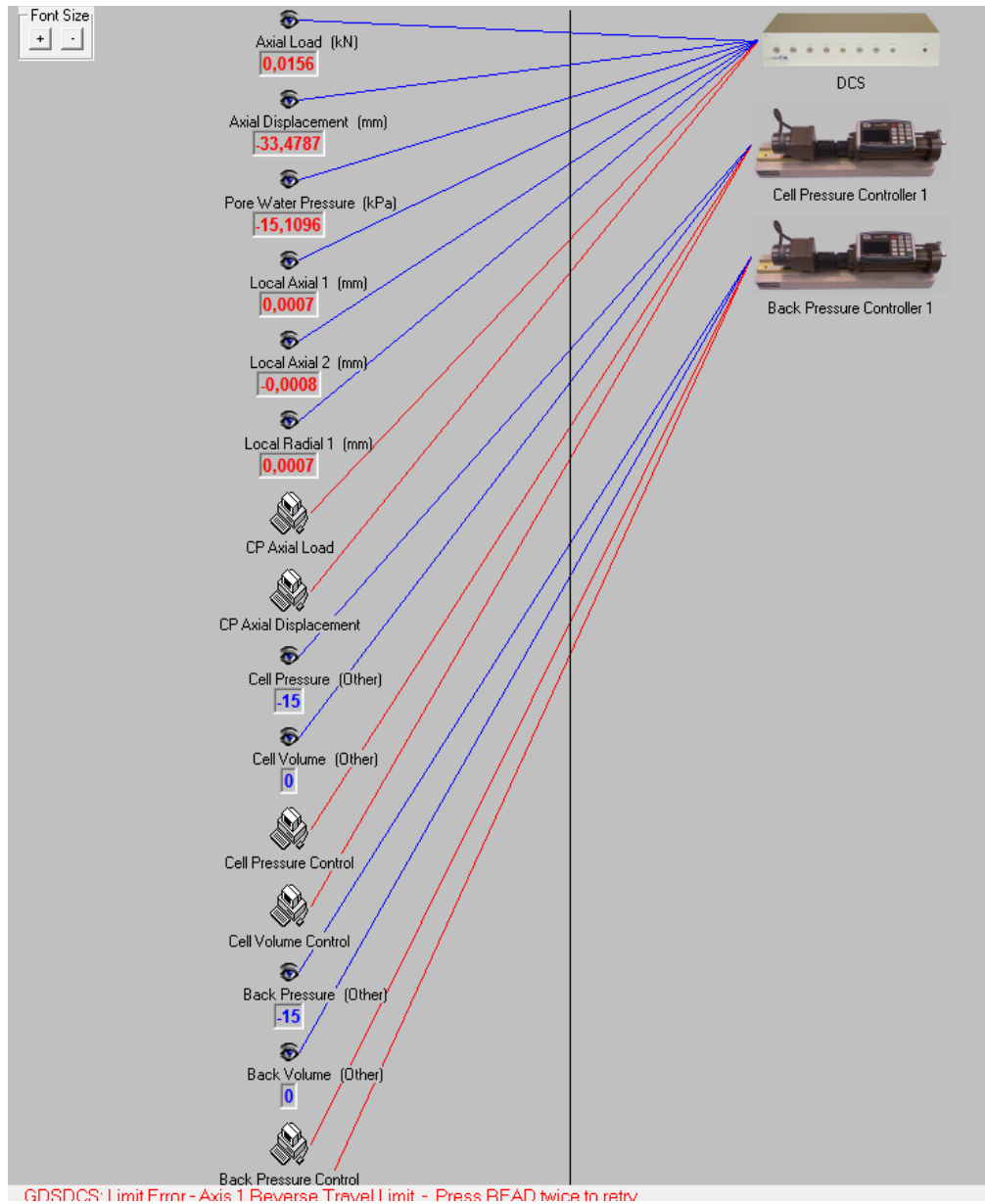
✓ Por último, dar click en Move in Negative Direction

Figura 61. Option Move in negative Direction



- ✓ Por último, se obtendrá la siguiente imagen, se observa en la parte inferior en rojo la descripción del error.

Figura 62. Error que aparece al bajar completamente



3.2 MONTAJE DE LA MUESTRA

Las muestras deben ser cilíndricas y tener un diámetro de 50 o 100 mm. La relación de altura-diámetro de la muestra debe ser entre 2 y 2.5. El tamaño de la partícula mayor debe ser menor que 1/6 del diámetro de la muestra. Si, al concluir el ensayo, a partir de observación visual, se encuentran partículas mayores, esta información se debe anotar en el formato de informe.

Se debe tomar mucha precaución con respecto al muestreo y al transporte de las muestras que se usarán en los ensayos triaxiales cíclicos, pues la calidad de los resultados se disminuye enormemente con la alteración de la muestra²³.

Además, se debe tratar de trabajar en lo posible con muestras en bloque y tubos shelby, ya que están son inalteradas.

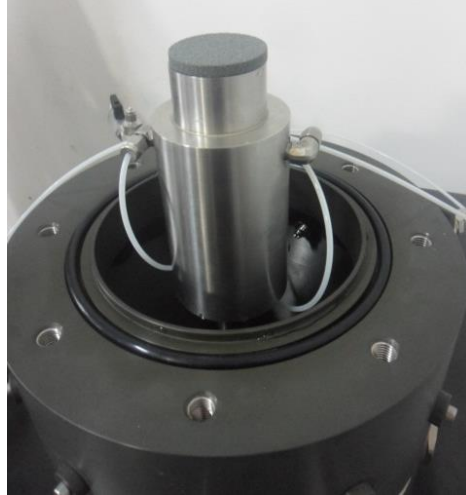
En el caso de muestras remoldeadas en el laboratorio se compacto siguiendo el Método de proctor estándar, determinando la humedad óptima del suelo junto con las dimensiones del molde se halló el peso de suelo a ensayar.

Los pasos a seguir en el montaje de la muestra son:

- ✓ Colocar piedra porosa (se deben dejar media hora en agua antes de colocarse para que se saturen)

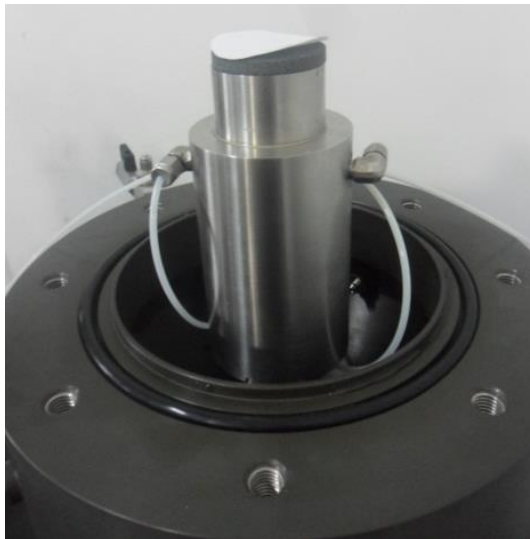
²³ ASTM 3999-11 – Método de prueba Estándar para la determinación Del Módulo y Amortiguamiento Del Suelo usando el Aparato Triaxial Cíclico (Standard Test Methods for the Determination of the Modulus and Damping Properties of Soils Using the Cyclic Triaxial Apparatus).

Figura 63. Piedra porosa.



✓ Colocar el papel filtro

Figura 64. Papel filtro.



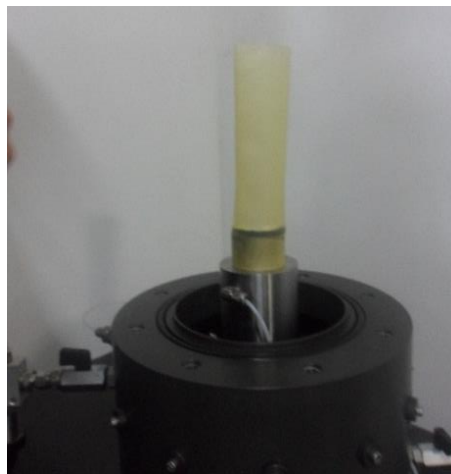
- ✓ Revisar que la membrana de látex esté en condiciones adecuadas, es decir, se estira para ver que no se rompa especialmente en las esquinas.

Figura 65. Revisión de la membrana.



- ✓ Colocar la membrana

Figura 66. Ubicación de la membrana.



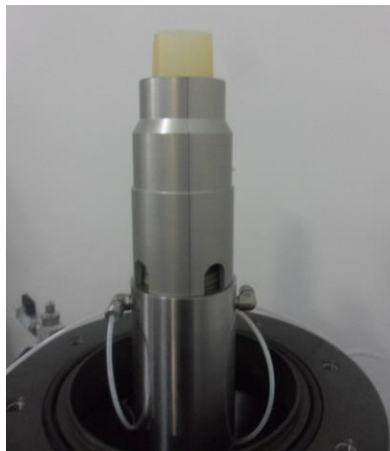
- ✓ Colocar los O-ring en la parte inferior y doblar la membrana en la parte inferior, para evitar que el agua ingrese.

Figura 67. Ubicación de los O ring inferior.



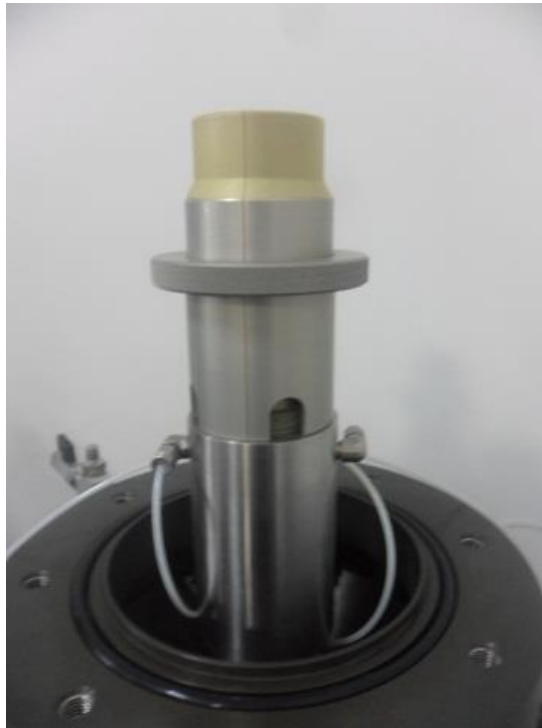
- ✓ Colocar el molde para montar la muestra

Figura 68. Ubicación del molde.



- ✓ Estirar la membrana de tal manera que quede ajustada lo mejor posible al molde

Figura 69. Estiramiento de la membrana.

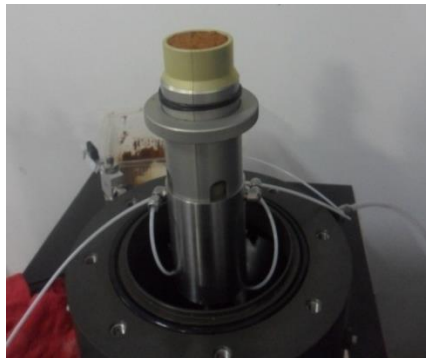


- ✓ Llenar el molde con el suelo a compactar.

Figura 70. Suelo vertiéndose y compactándose.

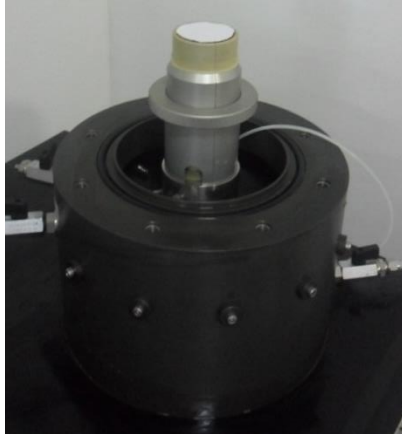


Figura 71. Suelo listo



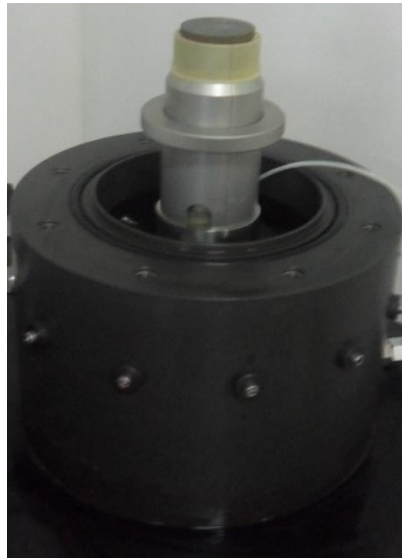
✓ Colocar el papel filtro en la parte superior.

Figura 72. Ubicación del papel filtro.



✓ colocar la piedra porosa en la parte superior.

Figura 73. Ubicación de la piedra porosa.



✓ Colocar el cabezal superior

Figura 74. Ubicación del cabezal superior.



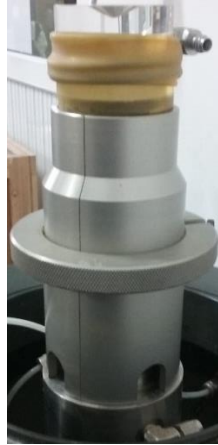
✓ Colocar los O ring en la parte superior

Figura 75. Ubicación del O ring.



✓ Doblar la membrana

Figura 76. Membrana doblada correctamente.



✓ Quitar el molde

Figura 77. Molde siendo retirado.



✓ Ajustar la manguera de contrapresión al codo que se encuentra en el cabezal superior

Figura 78. Conexión manguera de contrapresión al cabezal superior.



- ✓ Ubicar la goma en el cabezal superior, untándole vaselina para que mejore el acoplamiento e impida que se separe la muestra de la celda de carga en la etapa de aplicación de la carga cíclica.

Figura 79. Gomas elásticas para muestras de 10 cm y 5 cm de diámetro respectivamente.

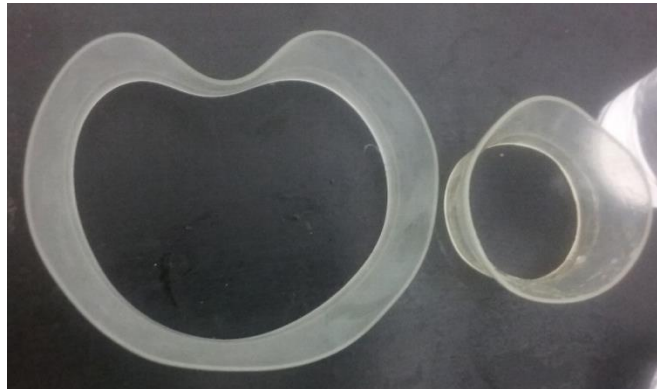
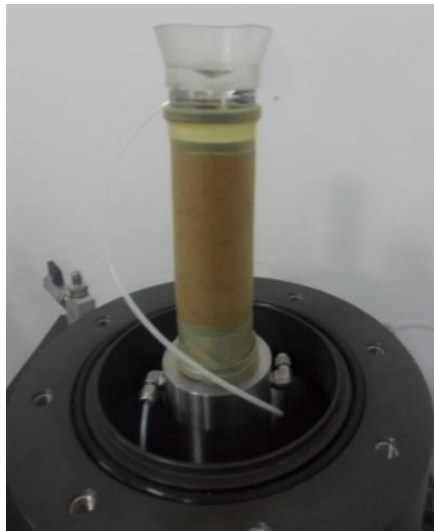


Figura 80. Lubricación de la goma.



Figura 81. Ubicación de la goma.



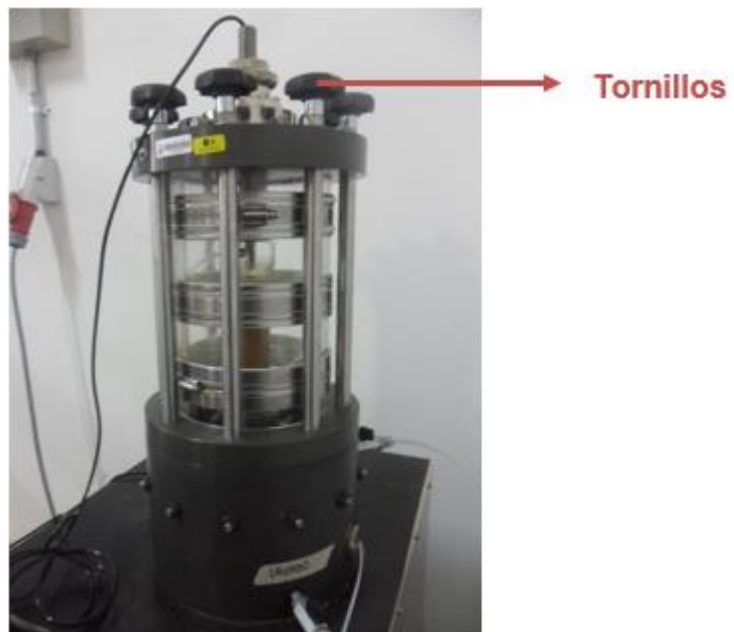
✓ Colocar la cámara triaxial

La válvula de ventilación a la atmósfera debe quedar adelante, para poder manipularla mejor cuando se llene la cámara.

Figura 82. Válvula de ventilación a la atmósfera.



Figura 83. Ubicación de la cámara.



NOTA: debe asegurar la cámara ajustando los tornillos.

3.3 PREPARACIÓN DEL EQUIPO PARA LA ETAPA DE SATURACIÓN

3.3.1 Subir el pedestal. Para subir el pedestal se siguen los siguientes pasos:

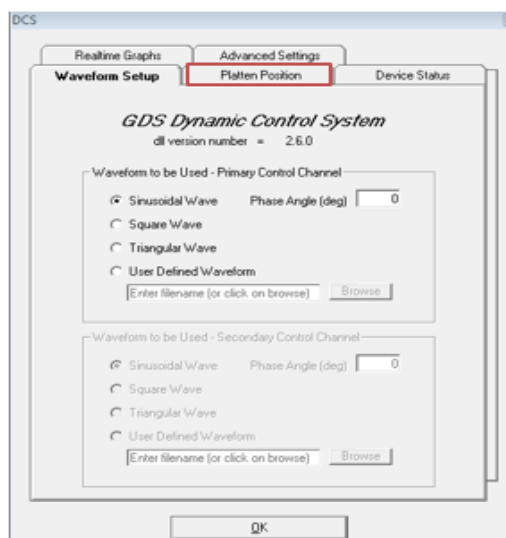
- ✓ Dar click en DCS

Figura 84. Procedimiento para subir el pedestal.



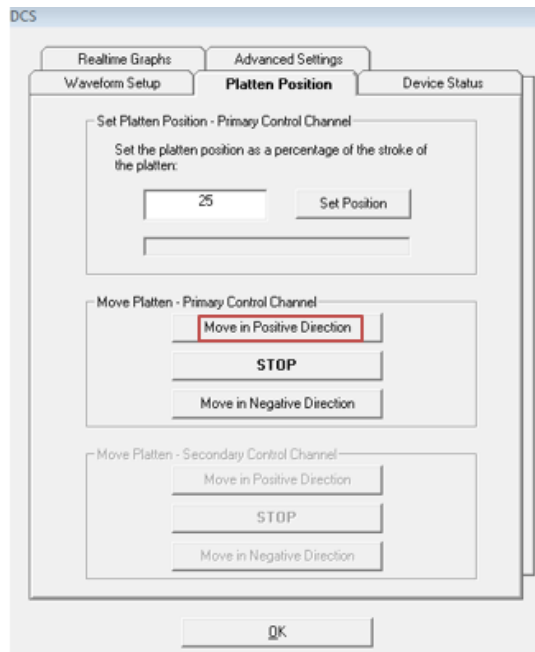
- ✓ Luego dar click en Platten Position

Figura 85. Platten Position.



- ✓ Por último, se da click en Move in Positive Direction

Figura 86. Move in Positive Direction.



- ✓ Se observa como sube el pedestal, hasta que haya un espacio de 1 cm entre los 2 cabezales, luego se da click en STOP.

Figura 87. Pedestal subiendo.

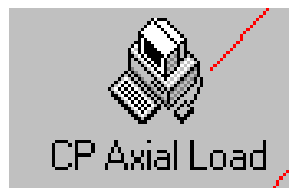


3.3.2 Aplicación de precarga y succión. Aplicar una precarga muy pequeña para realizar un contacto adecuado entre los dos cabezales.

Para aplicar una precarga se debe:

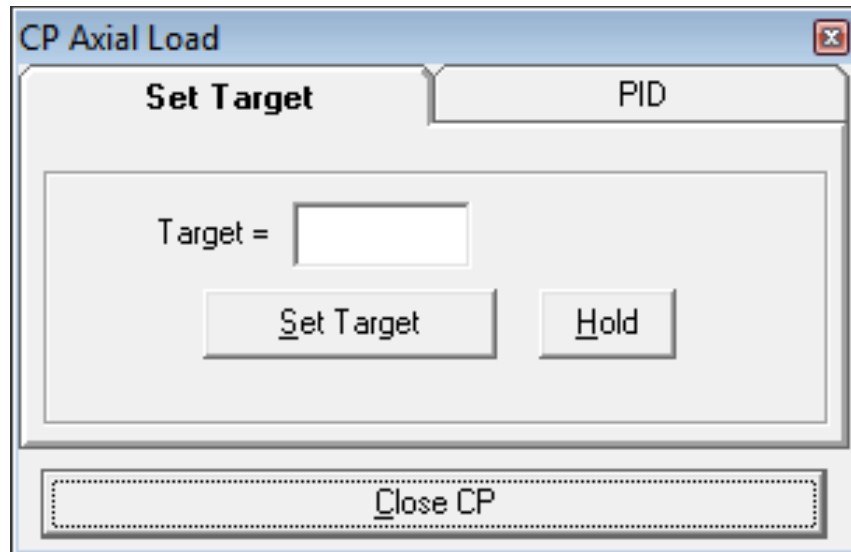
- ✓ Dar click en el icono CP_Axial_Load

Figura 88. Procedimiento para aplicar una precarga



- ✓ En el recuadro de Target se coloca un valor pequeño correspondiente a la precarga requerida cercana a 0,01 kN, luego se da click en Set Target.

Figura 89. Aplicación de precarga.



- ✓ Se observa cómo sigue subiendo la muestra lentamente, Cuando se realiza el contacto entre los cabezales succionar para que la goma se ajuste, sin dejar de succionar se cierra la llave de succión.

Figura 90. Llave de Succión.



Figura 91. Succión.



3.3.3 Purgado de mangueras y controladores. Con el objetivo de evacuar todo el aire que hay en las mangueras y los controladores, estos se desocupan y se llenan con agua. (las mangueras deben estar sumergidas en agua ver figura 94 y 97).

Para desocupar los controladores se utilizan los siguientes comandos:

- ✓ Oprimir CMD, para que aparezca el menu.

Figura 92. Oprimir CMD



- ✓ En el menu, oprimir 3 Fast Empty, luego el botón verde, al terminar el vaciado de aire el controlador para automaticamente y pita.

Figura 93. Fast Empty



Figura 94. Mecanismo de vaciado del controlador



Para llenar los controladores se utilizan los siguientes comandos:

- ✓ Oprimir CMD, para que aparezca el menu.

Figura 95. CMD

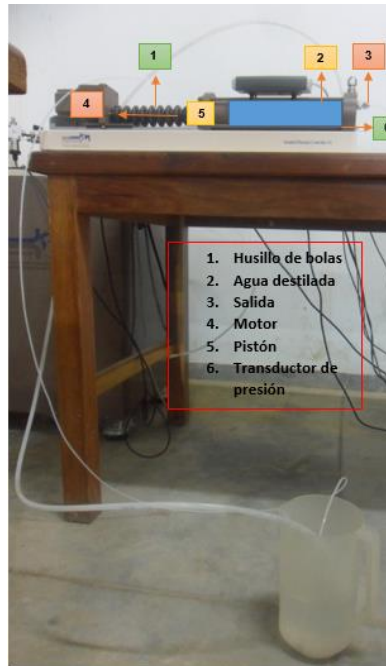


- ✓ En el menu, oprimir 6 Fast Fill, luego el botón verde, al terminar de llenarse de agua el controlador para automáticamente y pita.

Figura 96. Fast Fill.



Figura 97. Mecanismo de llenado del controlador



Se debe evacuar todo el aire que haya quedado de los anteriores pasos en cada uno de los controladores, para esto:

✓ Oprimir MENU

Figura 98. MENU



- ✓ Escoger la opción Fill/Empty y oprimir el botón verde

Figura 99. Fill/Empty.



- ✓ Escoger la opción Slow Empty y oprimir el botón verde

Figura 100. Slow/Empty.



- ✓ Retirar el racor, se observa como empieza a salir el agua, se da click en STOP cuando se haya expulsado todo el aire, es decir, cuando dejen de salir burbujas de aire con el agua.

Figura 101. Racor en el controlador de contrapresión.

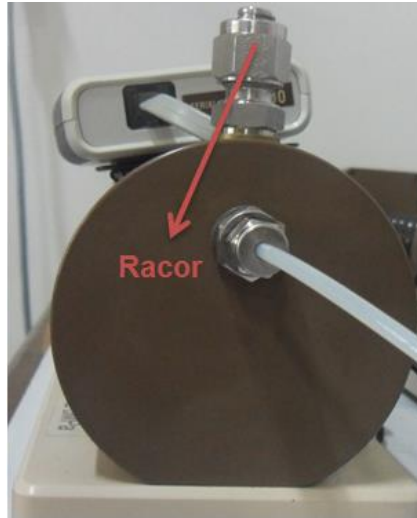


Figura 102. Racor en el controlador de presión de cámara.

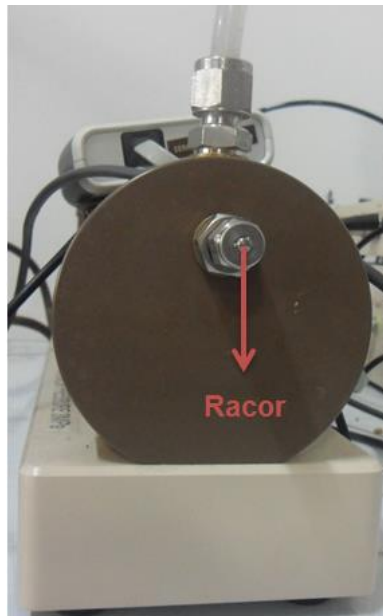


Figura 103. Agua sin burbujas saliendo del controlador de contrapresión.

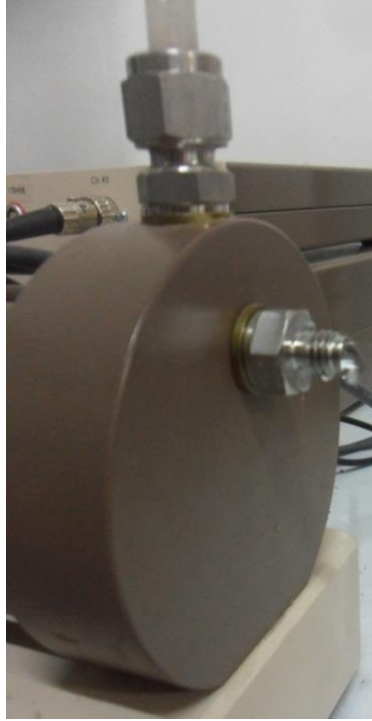


Figura 104. Agua sin burbujas saliendo del controlador de presión de cámara.



Figura 105. Mecanismo de desairado del controlador de contrapresión

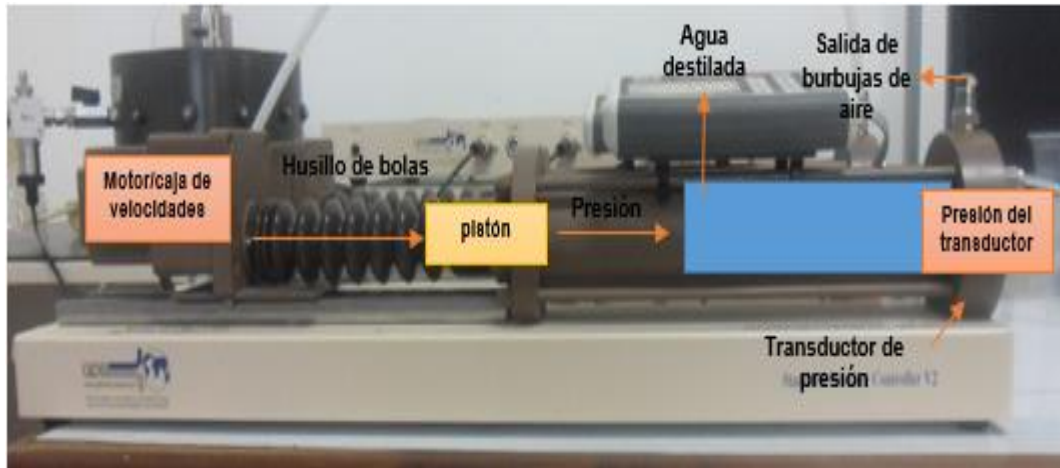
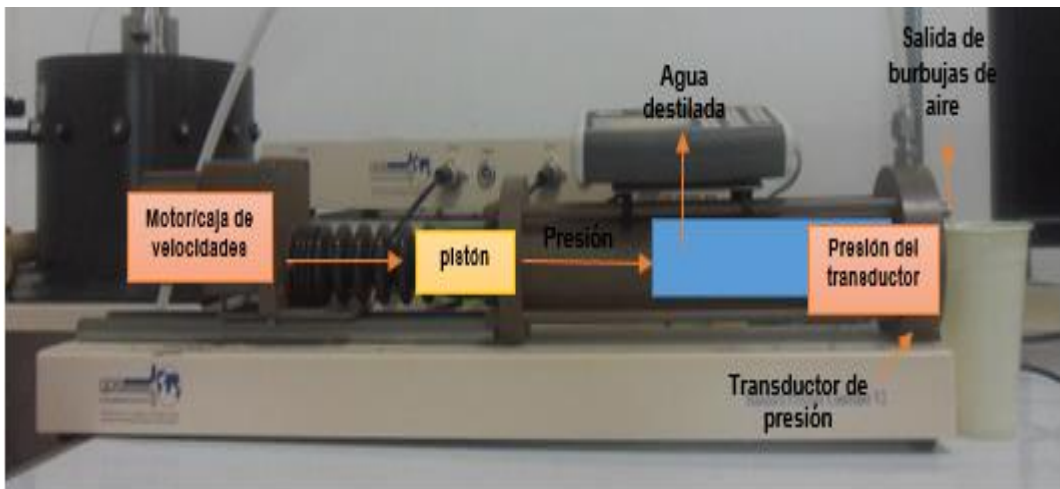


Figura 106. Mecanismo de desairado del controlador de presión de cámara



4.3.3.1 Lavado del sensor de presión de poros: Se realiza con el fin de eliminar todo el aire que se encuentre en la llave de presión de poros, para esto:

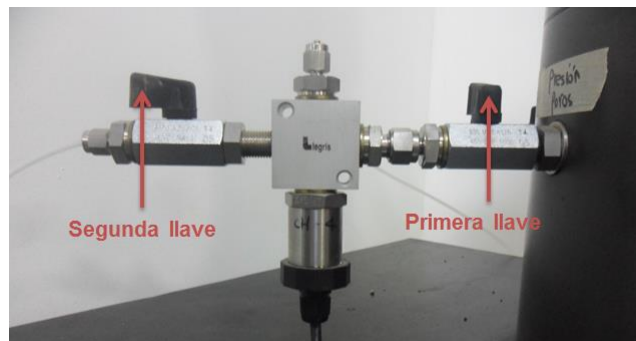
- ✓ Conectar la manguera del controlador de contrapresión a la llave de presión de poros.

Figura 107. Conexión manguera del controlador de contrapresión a la llave de presión de poros.



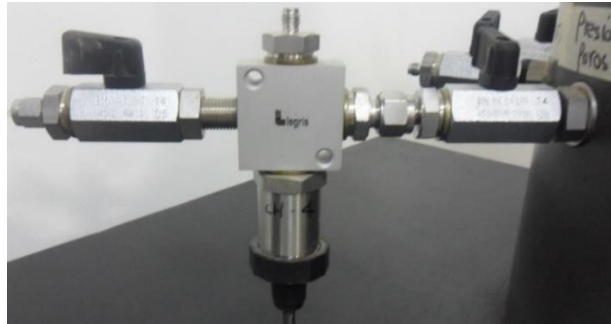
✓ Abrir la segunda llave y cerrar la primera de presión de poros.

Figura 108. Llave de presión de poros purgando los controladores.



✓ Retirar el sellador del sensor(tuerca)

Figura 109. Sellador de la llave de presión de poros.



- ✓ Aplicar un vaciado lento (MENU + Fill/Empty + Slow/Empty + botón verde) de tal manera que fluya el agua desde el controlador hacia el sensor de presión de poros permitiendo hasta evacuar todo el aire, luego dar click en STOP.

Figura 110. Agua sin burbujas saliendo de la llave de presión de poros.



NOTA: no se deben dejar los controladores llenos completamente (respecto a la línea vertical), porque generará en el software el error que se observa en la figura 97.

Figura 111. Límites de llenado controlador de contrapresión.

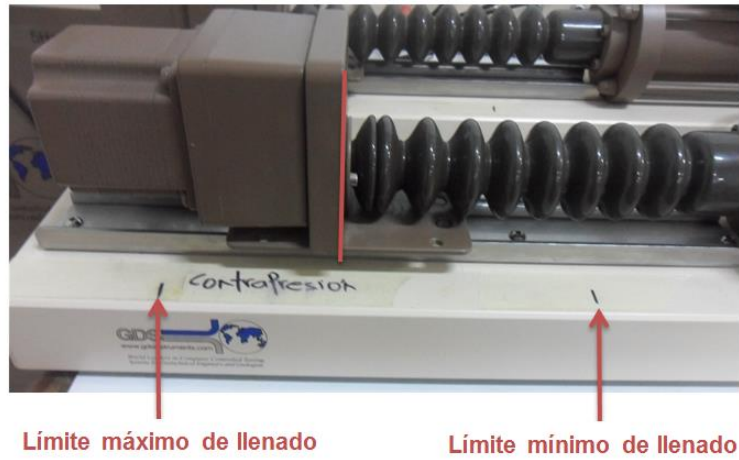


Figura 112. Límites de llenado controlador de contrapresión.

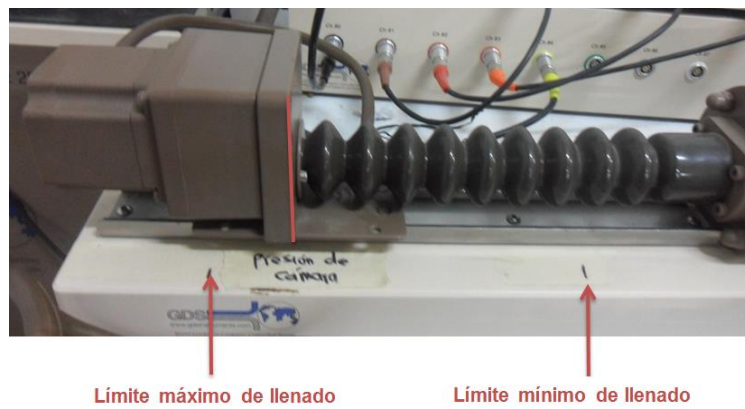
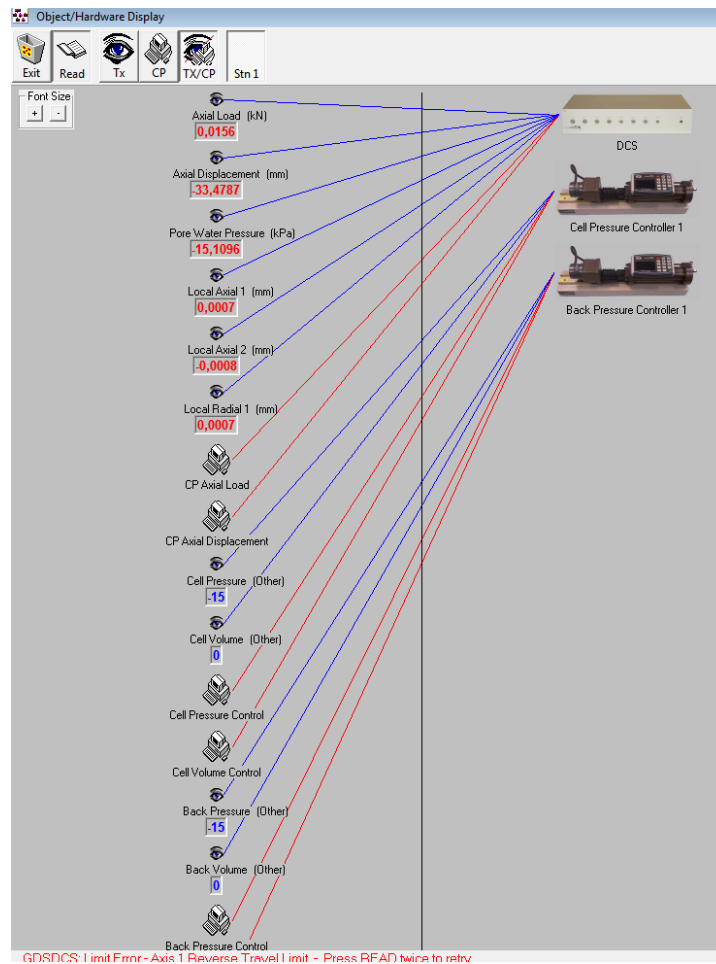
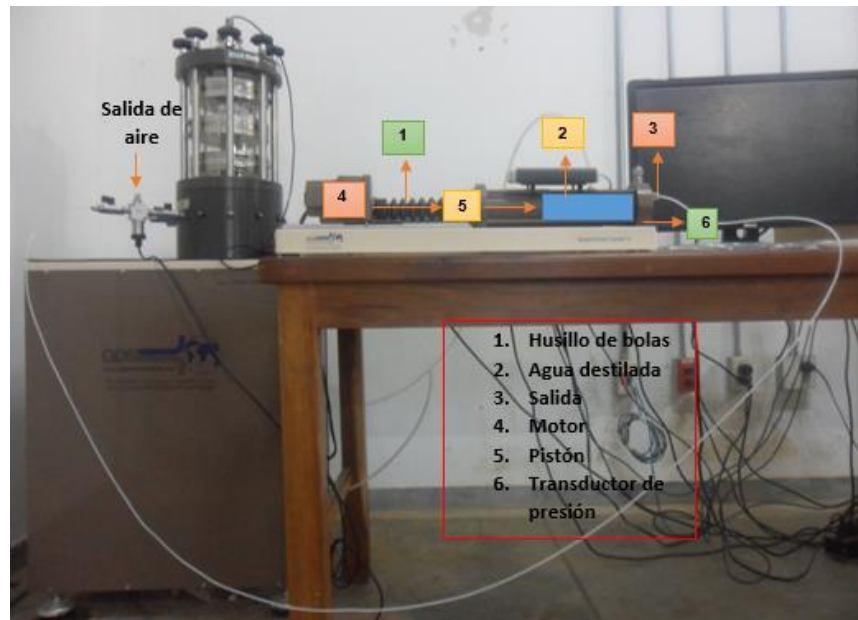


Figura 113. Error generado al llenar completamente los controladores.



Para que el error no aparezca se saca un poco de agua (CMD +3) si está muy lleno, y si está vacío se llena con más agua (CMD+6) luego se da click en Read de nuevo.

Figura 114. Mecanismo de lavado de llave de presión de poros.



3.3.4 Colocar en ceros.

3.3.4.1 Colocar en cero los controladores: Para poner en 0 los controladores de manera manual se siguen los siguientes comandos:

- ✓ Oprimir CMD 2 veces.

Figura 115. Oprimir CMD.



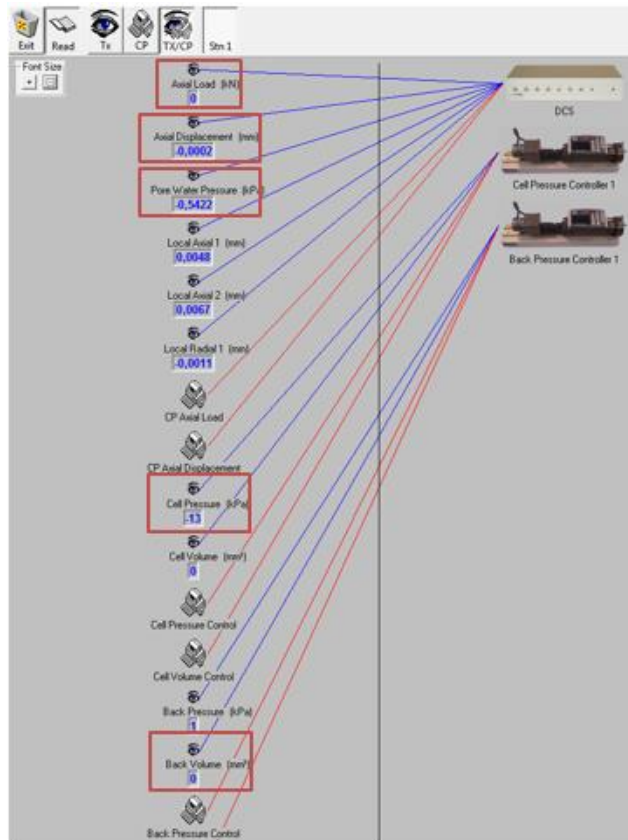
✓ Oprimir 8 Apply Pr.Offset y luego el botón verde

Figura 116. Apply Pr. Offset



3.3.4.2 Colocar en ceros desde el software: Se deben colocar en 0 todos los parámetros encerrados en la figura 101:

Figura 117. Parámetros a colocar en 0 desde el software.



Por ejemplo: para axial load:

- ✓ Dar doble click en Axial Load, luego en Advanced

Figura 118. Axial Load (Kn).

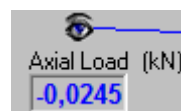
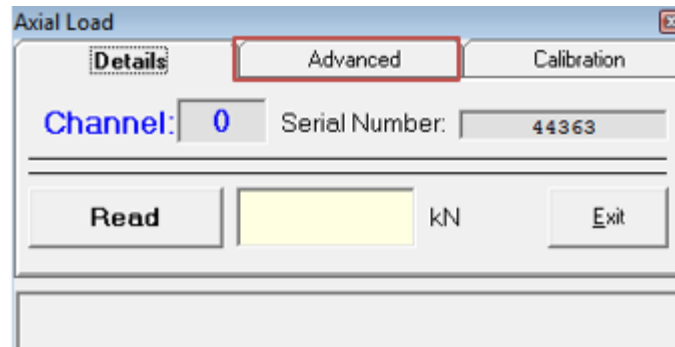
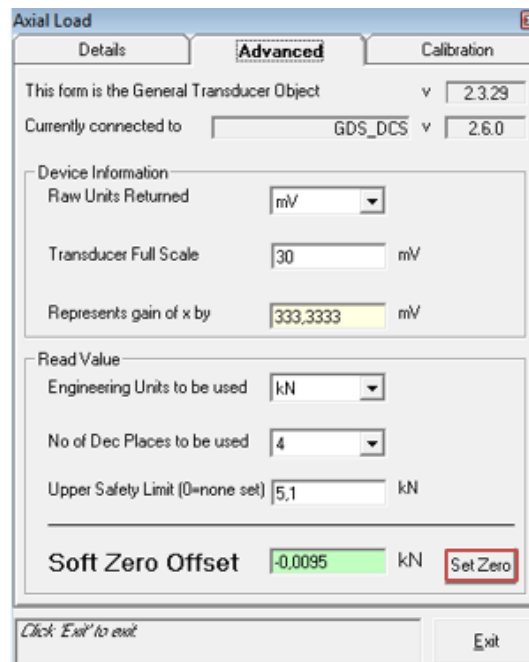


Figura 119. Advanced.



✓ Por último, Dar click en Set Zero.

Figura 120. Set Zero.



3.3.5 Llenar la Cámara con agua. Se llena la cámara a través de la manguera de lavado, hasta que por la válvula de ventilación a la atmósfera salga agua, entonces se cierra la llave de lavado y la válvula.

Figura 121. Manguera de lavado.



Figura 122. Válvula de ventilación a la atmósfera.



Válvula de ventilación a la atmósfera

Figura 123. Llenado de la Cámara.



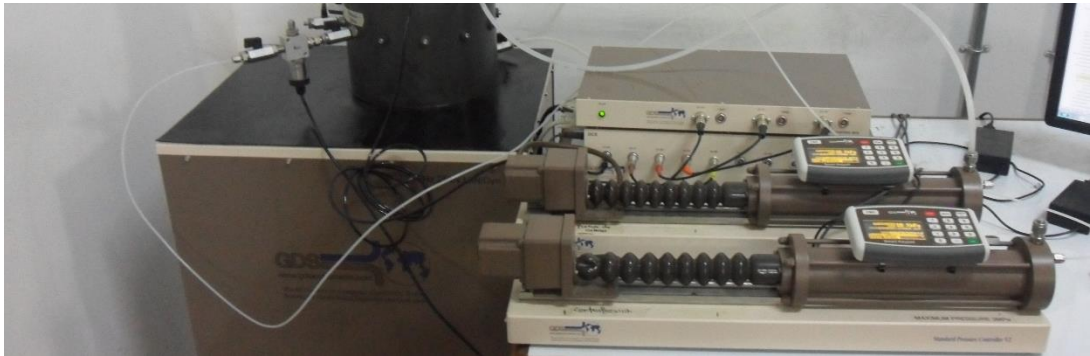
3.4 LAVADO DE LA MUESTRA

Consiste en evacuar la mayor cantidad posible de aire que podría ser difícil de remover en la etapa de saturación, se recomienda para muestras de suelos muy porosas.

Para realizar el lavado de la muestra se deben seguir los siguientes pasos:

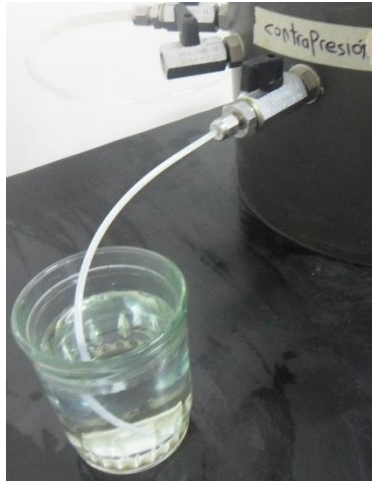
- ✓ Conectar la manguera de contrapresión a la llave de presión de poros

Figura 124. Conexión manguera del controlador de contrapresión a la llave de presión de poros.



- ✓ Conectar una manguera pequeña a la llave de contrapresión, colocando en el otro extremo un vaso de agua

Figura 125. Manguera de contrapresión para el lavado de la muestra.



✓ Abrir las llaves

Figura 126. Llave de contrapresión en el lavado de la muestra.



Figura 127. Llave de presión de poros en el lavado de la muestra.



- ✓ Colocar en 0 los controlador (MENU+Offsets menu+Apply Pr.Offset+botón verde) ver 4.3.4.1
- ✓ Aplicar presión cámara, por ejemplo 10 Kpa (CMD+7+ digitar el valor 10+ botón verde o enter)
- ✓ Aplicar la contrapresión deseada menor a la presión de cámara aplicada anteriormente, por ejemplo 8 Kpa (CMD+7+ digitar el valor 8+ botón verde o enter)
- ✓ Se observa como salen burbujas de aire atrapado en la muestra a través de la manguera que se conectó a la llave de contrapresión, se recomienda dejar actuar esta presión 5 minutos después de evacuado el aire.

Figura 128. Burbujas de aire al lavar la muestra



NOTA: Si no alcanza el volumen de agua que se encuentra en el controlador para realizar este paso, se debe cerrar la segunda llave de presión de poros luego llenar y purgar el controlador siguiendo los pasos vistos en el paso 4.3.3 para luego aplicar la presión deseada de nuevo.

- ✓ Por último se debe cerrar la segunda llave de presión de poros y la llave de contrapresión, para intercambiar las mangueras.

Figura 129. Llaves y mangueras de presión de poros y contrapresión al finalizar el lavado de la muestra.

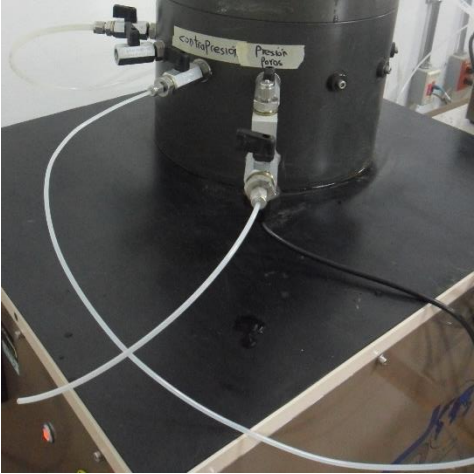


Figura 130. Conexión interna en etapa de lavado de muestra.

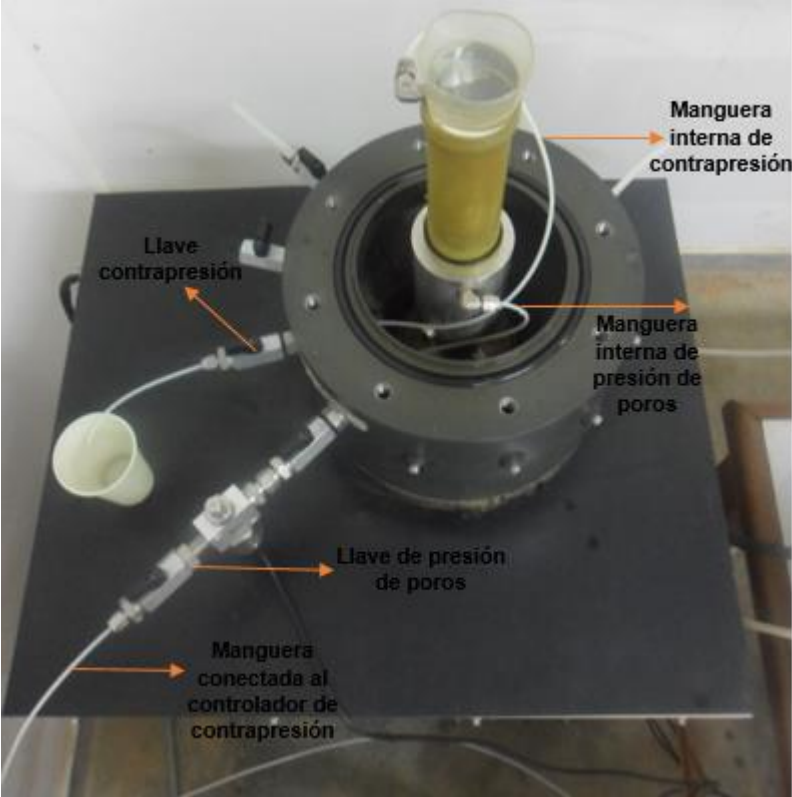


Figura 131. Mecanismo de lavado de muestra por el controlador de contrapresión.

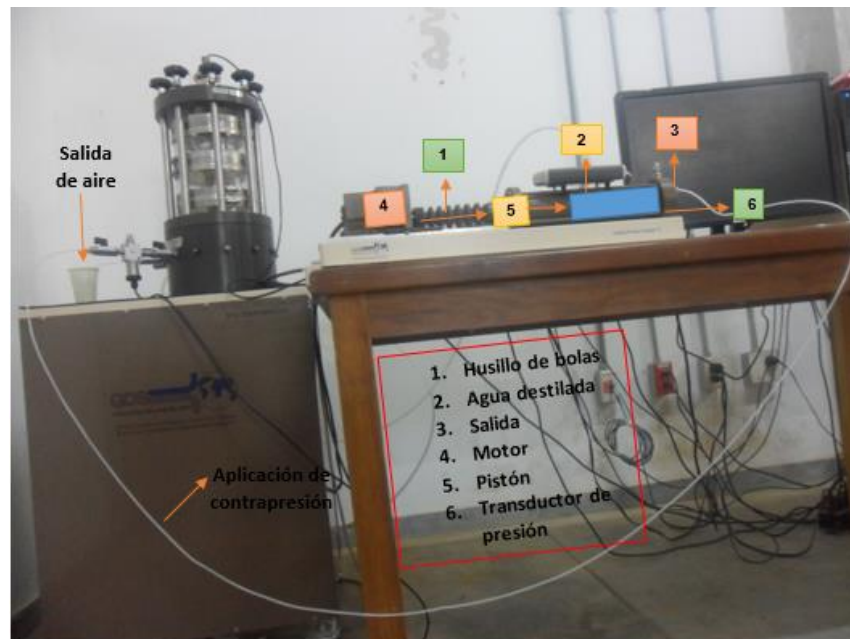


Figura 132. Mecanismo de lavado de muestra por el controlador de presión De cámara.

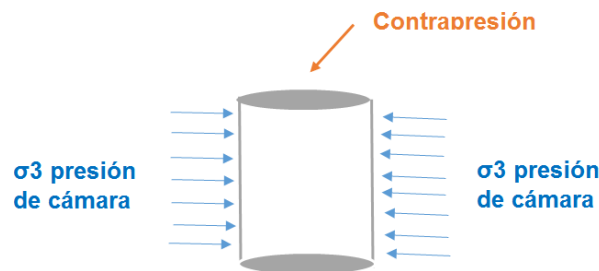


3.5 SATURACIÓN

El objetivo de la fase de saturación en el ensayo es llenar todos los vacíos en la muestra con agua sin aplicar esfuerzos indeseables evitando que la muestra se expanda o se comprima bajo el esfuerzo de consolidación efectivo deseado ver figura 133²⁴.

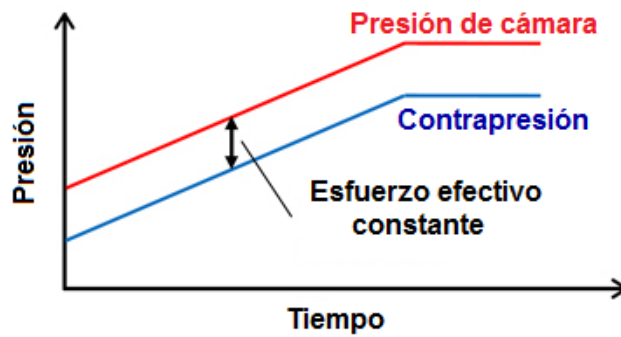
La saturación se logra aplicando contrapresión y presión de cámara a la muestra, manteniendo siempre una diferencia entre ellas de 10 Kpa por experiencia (la norma ASTM 5311 recomienda 35 Kpa), la presión de cámara debe ser mayor que la contrapresión, dado que, esta última es mayor la muestra se deforma horizontalmente ver figura 134, 135, 136.

Figura 133. Proceso de Saturación.



²⁴ ASTM 5311-11 – Método Estándar de Prueba para Resistencia Triaxial Cíclica Controlada por Cargas (Standard Test Method for Load Controlled Cyclic Triaxial Strength of Soil).

Figura 134. Saturación.



Fuente: White Paper: Introduction to Triaxial Testing. Disponible en: <http://www.gdsinstruments.com/information/white-paper-introduction-to-triaxial-testing>

Figura 135. Mecanismo del controlador de contrapresión en la etapa de saturación.

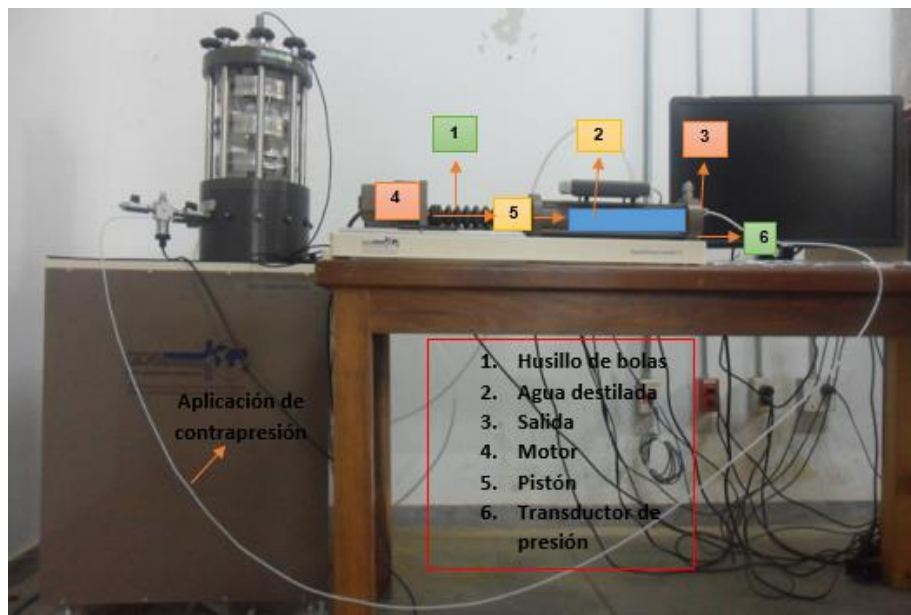
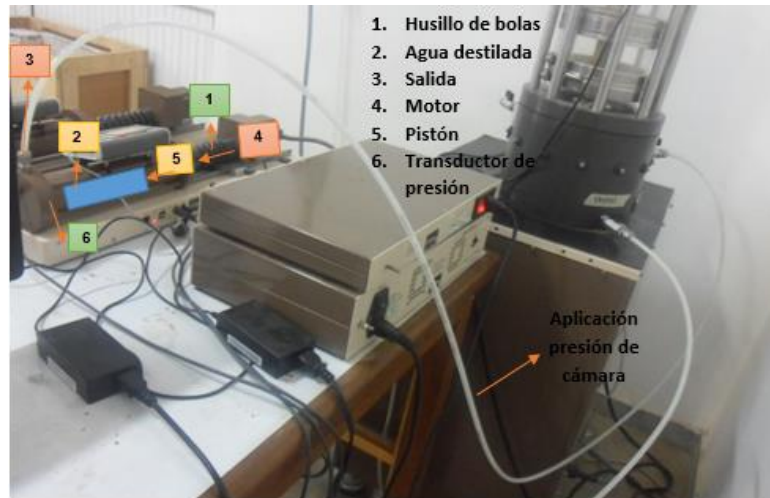
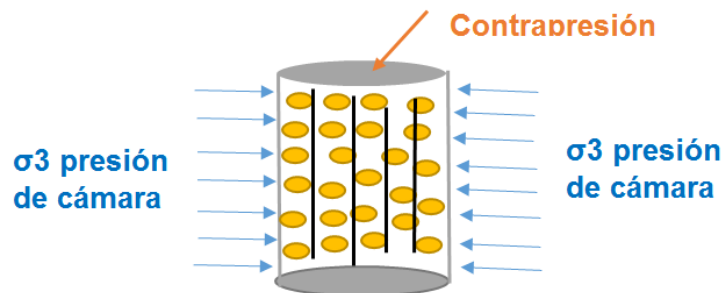


Figura 136. Mecanismo del controlador de contrapresión en la etapa de saturación.



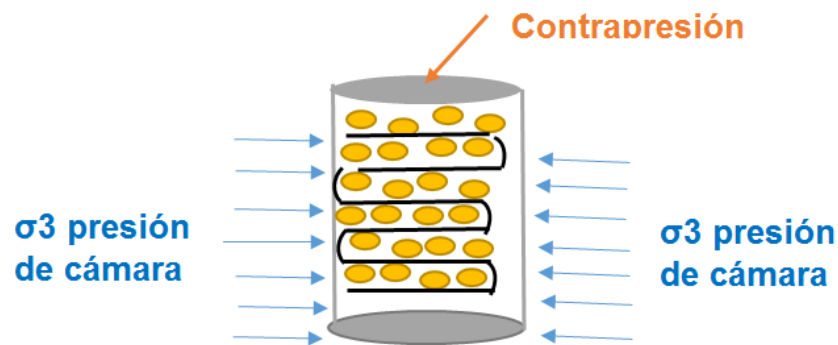
La experiencia ha mostrado que entre más rápido inyecte el agua menos eficiente será la saturación, si dentro de la cámara se encuentra el suelo (amarillo), y los espacios en blanco son los poros del suelo que se deben llenar con agua, es importante saber que, si la aplicación de contrapresión se realiza a una velocidad rápida, el agua realizará un recorrido superficial por los poros del suelo, de tal manera que al efectuar el chequeo del valor B lo más probable es que se tenga que realizar otra rampa de saturación ver figura 137.

Figura 137. Proceso de Saturación a una velocidad rápida.



En cambio, Si la aplicación de la contrapresión se realiza a una velocidad baja, el agua realizará un recorrido por todos los poros del suelo de tal manera que al efectuar el chequeo del valor B estará muy cerca al 100% (para las arcillas se trabajó saturación de 45 horas con un aumento de 100 kpa en la presión de cámara y contrapresión) ver figura 138.

Figura 138. Proceso de Saturación realizado con velocidad baja.



Para realizar la saturación se deben seguir los siguientes pasos:

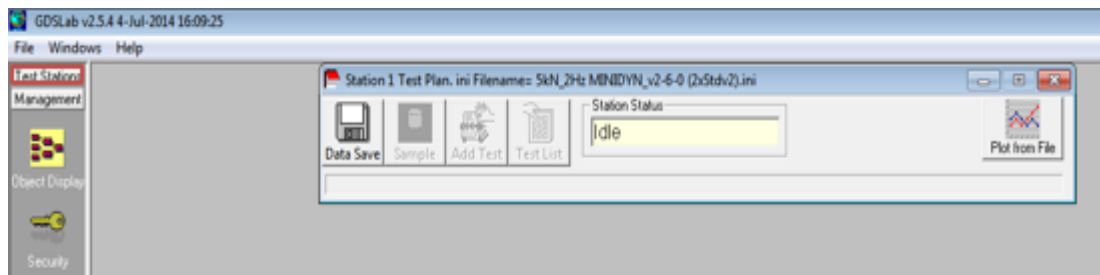
- ✓ Se debe revisar que no haya ningún error
- ✓ Existe un error en la lectura o en la instalación de las mangueras si se encuentra algún valor en rojo o si aparece la palabra error como aparece en la figura 58.
- ✓ Dar click en Exit para empezar a realizar el ensayo

Figura 139. Exit.



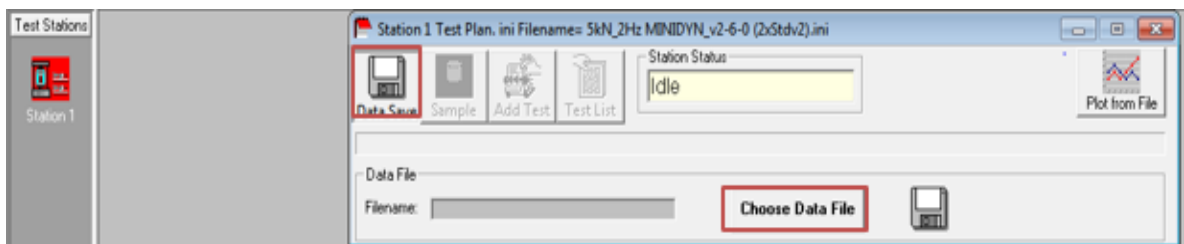
✓ Dar click en Test Stations

Figura 140. Ingreso plataforma para iniciar ensayo.



✓ Dar click en Data Save, luego en Choose Data File.

Figura 141. Creación del archivo.



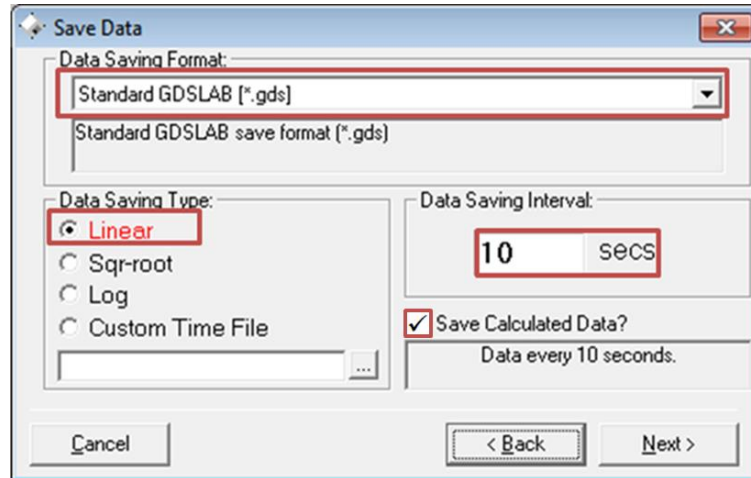
- ✓ Dar click en Single Directory

Figura 142. Single Directory.



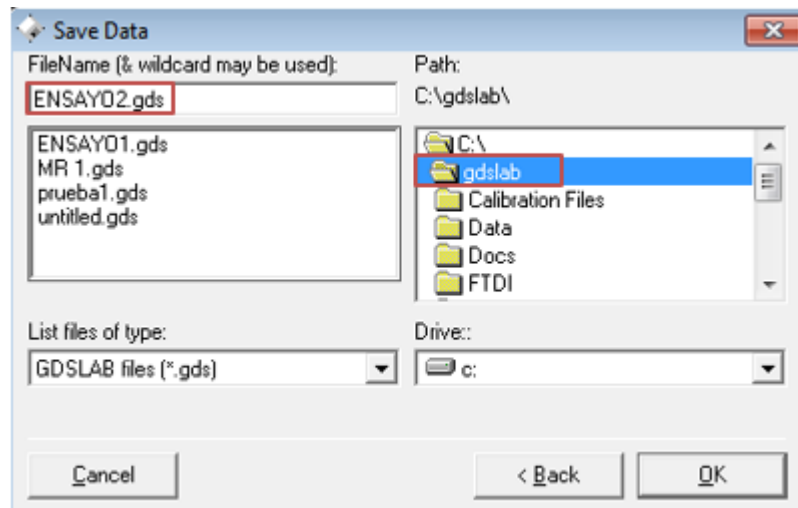
- ✓ En Data Saving Format escoger Standard GDSLAB [*.gds] porque este formato incluye todos los datos de las columnas con etiquetas, en Data Saving Type escoger Linear porque guarda los datos cada x segundos (el intervalo de tiempo se puede cambiar en el cuadro de Data Saving interval), por último seleccionar la opción Save Calculated Data? para guardar los datos calculados en el archivo.

Figura 143. Formato para guardar la prueba.



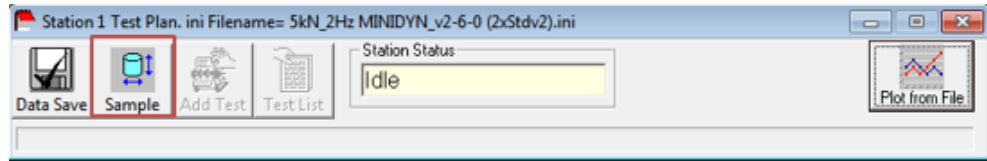
- ✓ Dar un nombre al ensayo en FileName, este archivo se guardará en la carpeta gdslab.

Figura 144. Nombre del archivo.



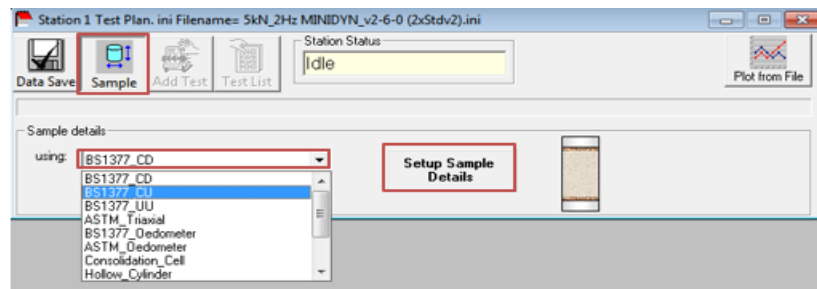
- ✓ Se observa que se habilita la opción de Sample, dar click en ella

Figura 145. Sample.



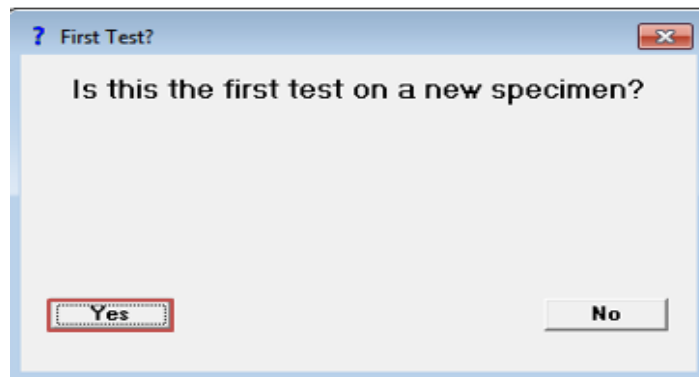
- ✓ Escoger el tipo de ensayo a trabajar (CD, CU, UU) en using y se dar click en Setup Sample Details.

Figura 146. Opciones de Sample.



- ✓ El software pregunta si es un nuevo espécimen, se da click en Yes.

Figura 147. ¿Especimen nuevo?



NOTA: Al dar click en YES al crear la etapa de prueba existen dos posibilidades:

- Si la muestra está en contacto con el pistón de carga, el transductor de cambio de contra volumen iniciará en 0
- Si la muestra no está en contacto con el pistón de carga, el transductor de cambio de contra volumen y desplazamiento axial iniciará en 0

Al dar click en NO los transductores de contra volumen y desplazamiento axial no realizarán iniciarán en 0, asumirán que cualquier cambio en el volumen y desplazamiento axial proviene de una etapa realizada anteriormente y tomará estos datos para calcular la altura y el diámetro de la muestra.

✓ El software pregunta si dockea el espécimen, dar click en No.

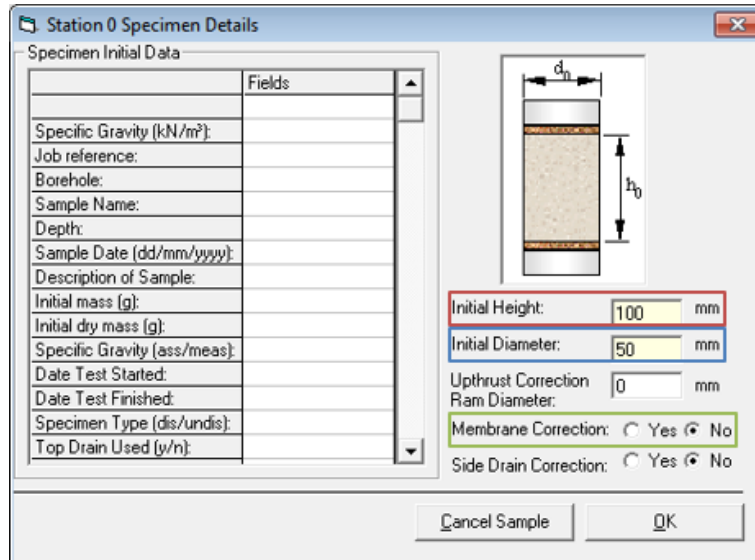
Figura 148. Dockeado de la muestra.



NOTA: Dockear significa que el cabezal superior de la muestra está en contacto con el pistón de carga, por lo tanto, al dar click en YES el software asume que la muestra es anisotrópica realizando correcciones en las dimensiones, en cambio al dar click en NO el software asume la muestra como isotrópica.

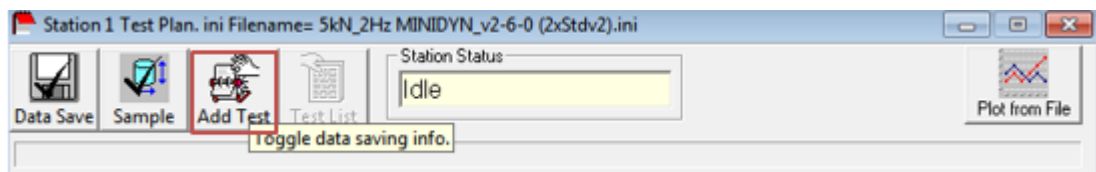
- ✓ Ingresar detalles de la muestra como altura y diámetro en la parte derecha, en la parte izquierda se pueden ingresar otros datos que se posean como masa, fecha etc.

Figura 149. Datos de la muestra.



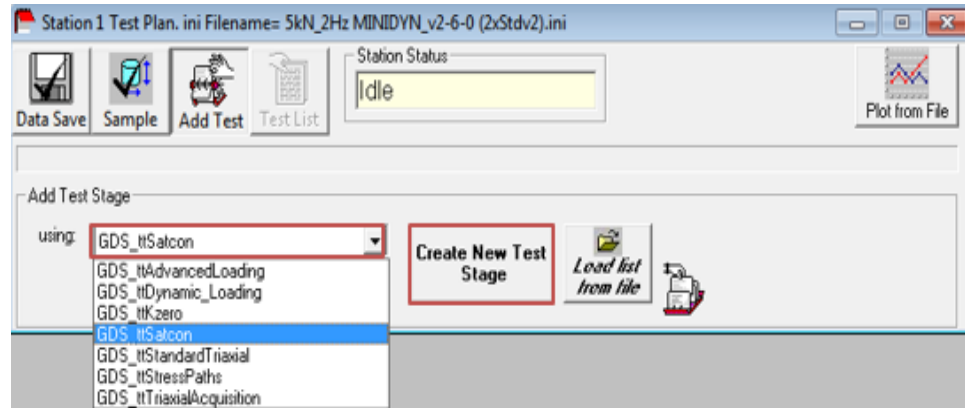
- ✓ Se observa que se habilita la opción de Add test, se da click en ella

Figura 150. Add test.



- ✓ Escoger la opción GDS ttSatcon en using y se da click en Create New Test Stage.

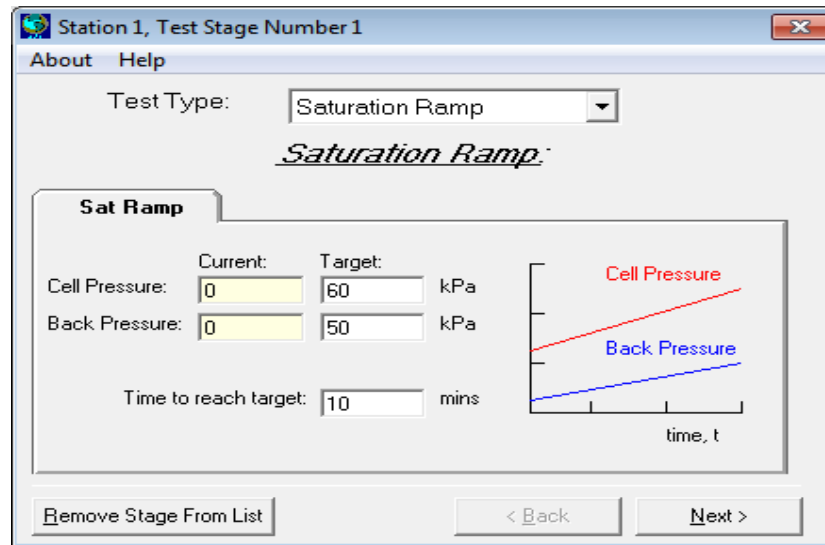
Figura 151. Opciones de Add Test.



- ✓ Escoger la opción Saturation Ramp, ingresar los valores de presión de cámara y contrapresión además del tiempo para llegar a estas presiones, es importante mencionar que el valor de presión de cámara que se le ingresa al sistema representa la presión de confinamiento a la que se encuentra sometida la muestra.

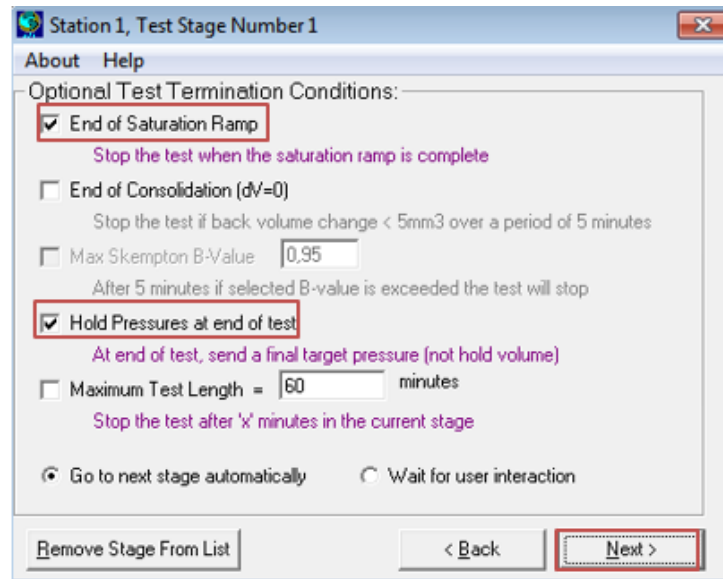
Para este ensayo se trabajó con valores de 60 y 50 para presión de cámara y contrapresión respectivamente por un tiempo de 10 minutos para verificar que el proceso se realice bien

Figura 152. Primera rampa de saturación.



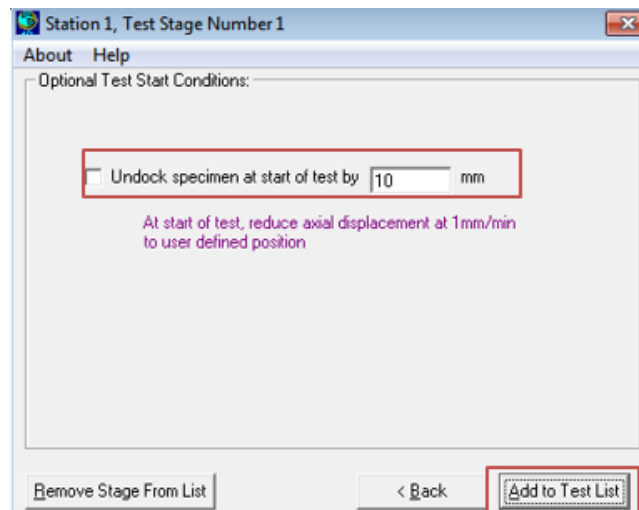
- ✓ En la figura 153 están las opciones de terminación de prueba una vez finalizada la saturación es importante deshabilitar lo que se encuentra en los rectángulos rojos End of Saturation Ramp y Hold Pressures at end of test para seguir realizando las otras etapas del ensayo.

Figura 153. Opciones de terminación de la prueba.



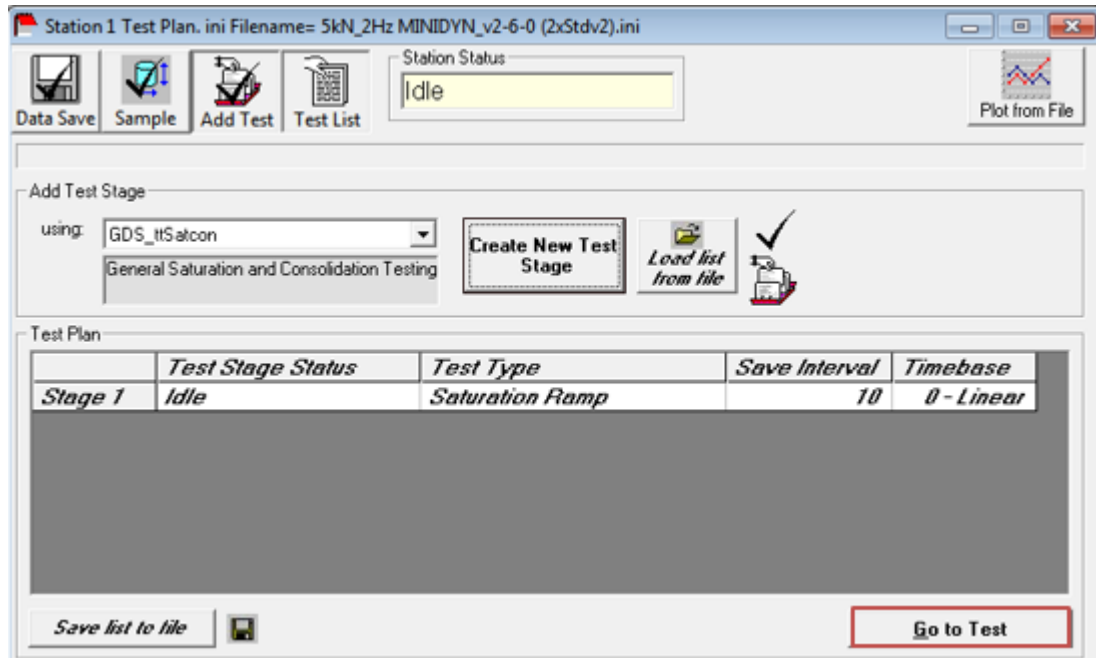
- ✓ Deshabilitar la opción Undock specimen at star of test by y dar click en Add to Test List.

Figura 154. Condiciones opcionales de la prueba.



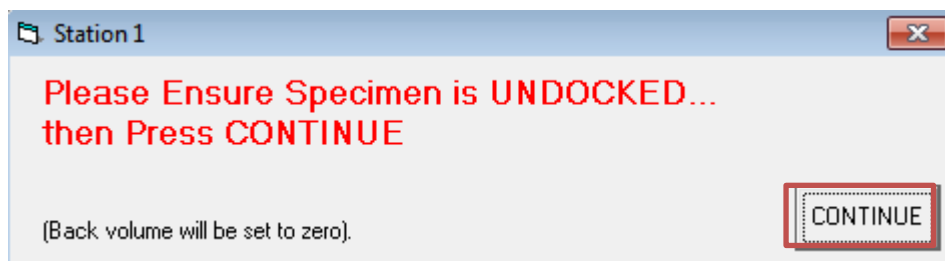
- ✓ Dar click en Test list, para observar que, en la lista de pruebas, la rampa de saturación ha sido creada, y se dar click en Go to Test.

Figura 155. Rampa de saturación en la lista de pruebas.



- ✓ Aparece un mensaje que recuerda que a la muestra no se le han corregido aun sus dimensiones, dar click en CONTINUE.

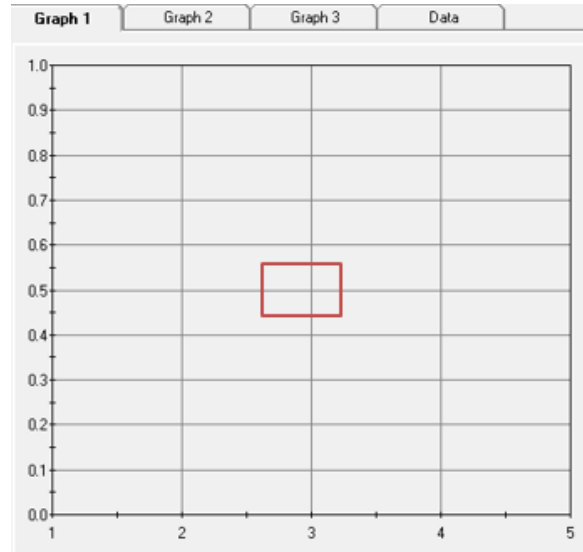
Figura 156. Muestra no dockeada.



Para configurar la gráfica:

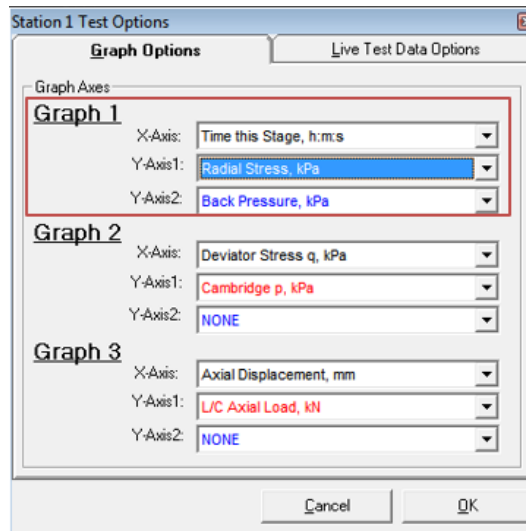
- ✓ Dar doble click sobre el diagrama

Figura 157. Configuración de la gráfica.



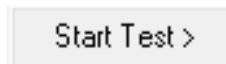
- ✓ Configurar Graph 1 de la siguiente manera: en X-AXIS: tiempo de esta etapa (Time this Stage, h: m: s), en Y-Axis1: esfuerzo radial (Radial Stress,Kpa) y en Y-Axis2: contrapresión (Back Pressure,Kpa).

Figura 158. Configuración de la gráfica en la etapa de saturación.



- ✓ Dar click en Start Test

Figura 159. Start Test.



- ✓ Después de dar click en Start Test se debe cerrar solo la segunda llave de presión de poros, dado que esta le permite al sensor obtener los datos, y se abre la llave de contrapresión.

Figura 160. Llaves de presión de poros en la etapa de saturación.

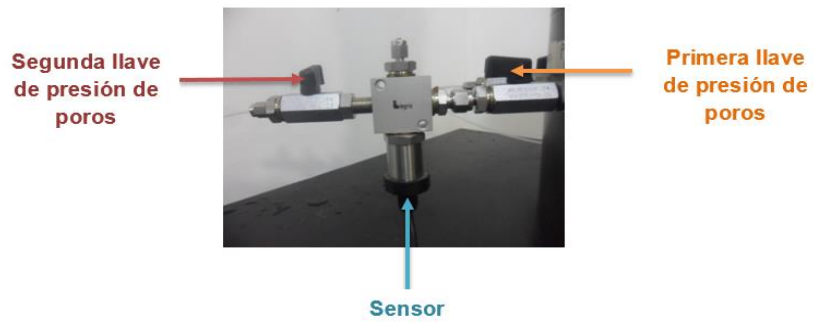
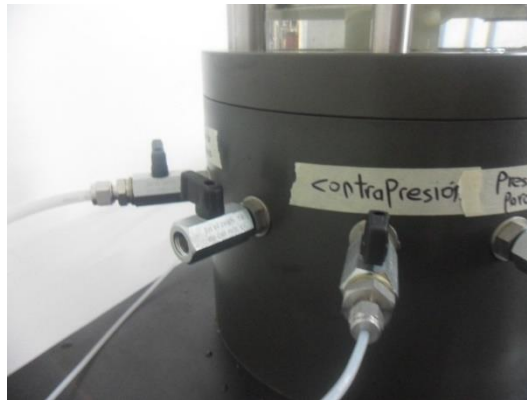
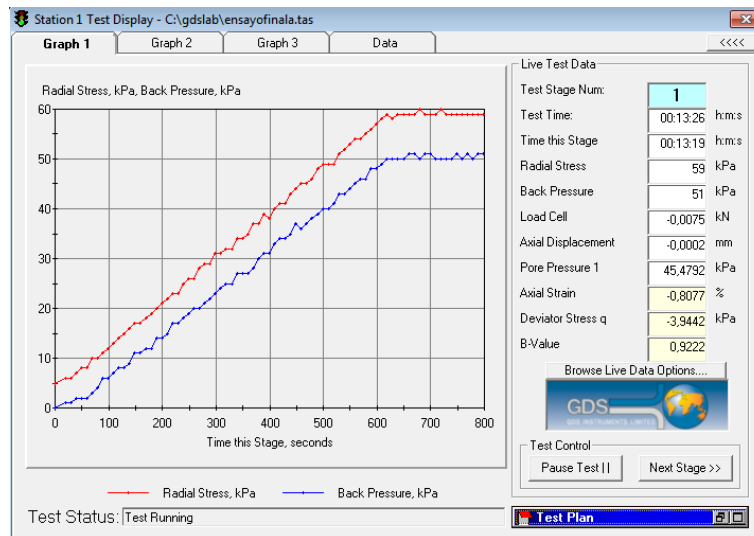


Figura 161. Llave de contrapresión en la etapa de saturación.



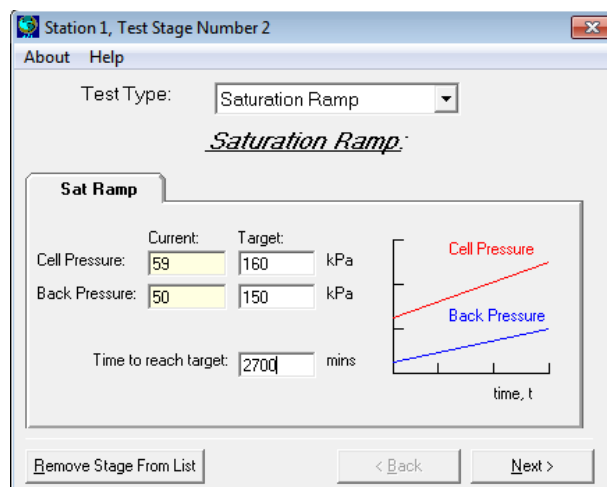
✓ Se obtiene la siguiente gráfica:

Figura 162. Gráfica presión de cámara & Contrapresión VS tiempo de la primera rampa de saturación.



- ✓ Se realiza la segunda rampa de saturación, esta vez con valores de 160 y 150 para la presión de cámara y contrapresión respectivamente, en un tiempo de 2700 minutos, repitiendo todo el procedimiento anteriormente mencionado.

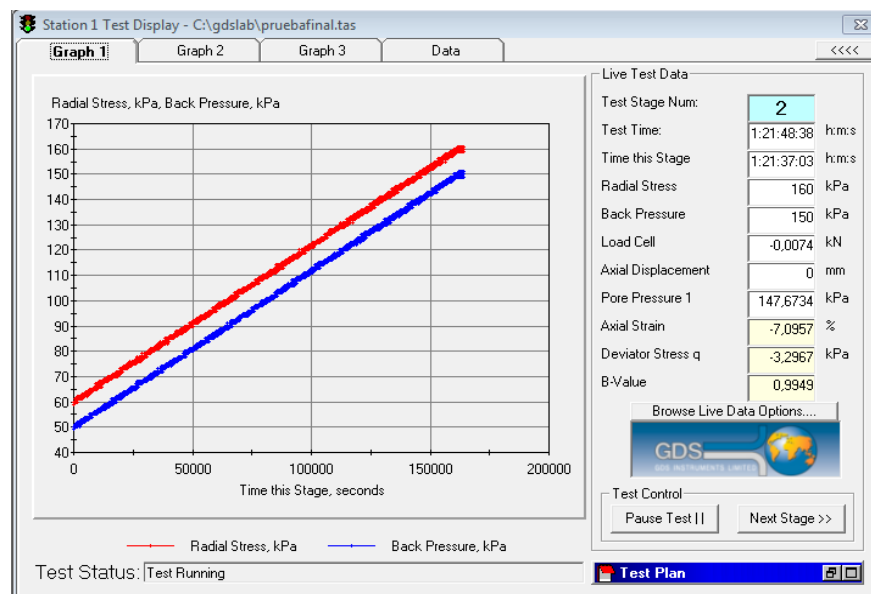
Figura 163. Segunda rampa de saturación.



NOTA: Es importante saber que cuando se realiza otra rampa de saturación el incremento de la segunda respecto a la primera según la norma ASTM puede ser de 150 Kpa, pero hay que tener mucho cuidado pues entre más alta sea la presión que se aplica a la muestra, mayor será el esfuerzo y la alteración en la muestra.

✓ Se obtiene la siguiente gráfica:

Figura 164. Gráfica presión de cámara & Contrapresión VS tiempo de la segunda rampa de saturación



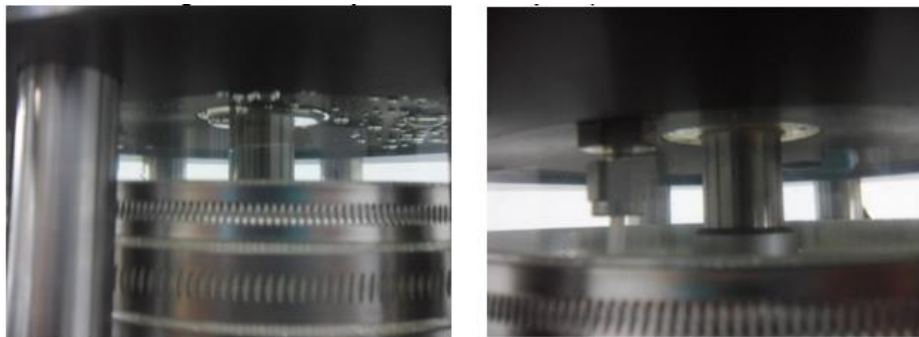
Nota: El valor que se observa en B-Value NO se debe tener en cuenta en esta etapa.

Figura 165. Valor de B en la etapa de saturación.

| Live Test Data | |
|---------------------|------------------|
| Test Stage Num: | 2 |
| Test Time: | 1:21:48:38 h:m:s |
| Time this Stage: | 1:21:37:03 h:m:s |
| Radial Stress: | 160 kPa |
| Back Pressure: | 150 kPa |
| Load Cell: | -0,0074 kN |
| Axial Displacement: | 0 mm |
| Pore Pressure 1: | 147,6734 kPa |
| Axial Strain: | -7,0957 % |
| Deviator Stress q: | -3,2967 kPa |
| B-Value: | 0,9949 |

✓ Al finalizar la saturación se observa que las burbujas de aire desaparecen.

Figura 166. Burbujas de aire antes y después de saturación. Burbujas de aire antes y después de saturación.



3.6 B CHECK

Para comprobar que el grado de saturación de la muestra es suficientemente alta, antes de la fase de consolidación, se realiza una prueba corta para determinar el valor de B-Skempton ver ecuación 1²⁵.

²⁵ Parte 1 Introduction to Triaxial Testing PDF. 1 de 3.

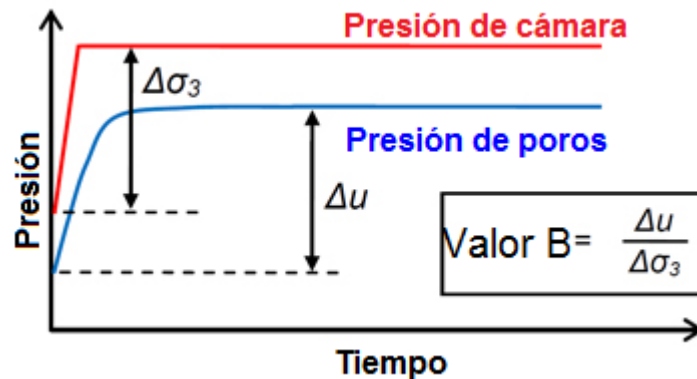
Ecuación 1

$$B_{skempton} = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_3}$$

Donde:

Δu Es el cambio en la presión de poros en la muestra producido por un cambio en la presión de cámara y $\Delta \sigma_3$ es el cambio en la presión de cámara ver figura 167.

Figura 167. Cálculo del valor B.



Adaptado de <http://www.gdsinstrzments.com/information/white-paper-introduction-to-triaxial-testing>.

Esta prueba tiene el nombre de B-check, y consiste en aumentar la presión de cámara (σ_3) en aproximadamente 50 Kpa, y medir la nueva presión de poros generada ver figura 168,169. Esto se hace con el drenaje e la muestra cerrado, aplicado la ecuación 1 se obtiene el valor de B, el cual debe ser mayor o igual a 0,95 para obtener una buena saturación, el valor de B depende del tipo de suelo, por lo que mientras que una arcilla blanda normalmente consolidada producirá un $B \approx 1.00$, una arena muy densa o arcilla dura llegara hasta un $B \approx 0,91$ ver tabla No.2.

Figura 168. Mecanismo del controlador de contrapresión en la etapa de B-check.

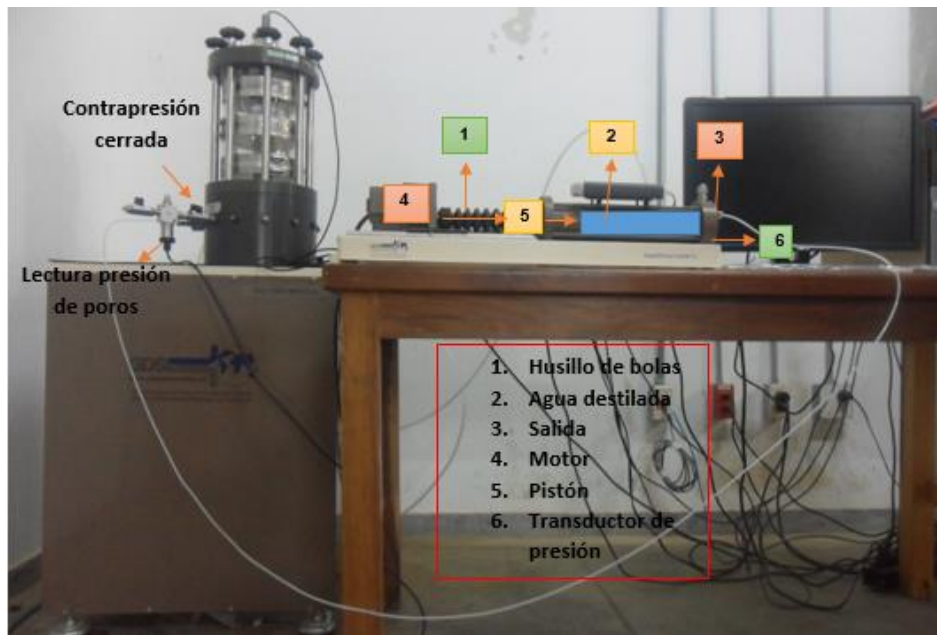


Figura 169. Mecanismo del controlador de presión de cámara en la etapa de B-check.



Tabla 2. Diferentes valores de B.

| DESCRIPCIÓN | B | S |
|---|--------|------|
| Arcilla Blanda, Normalmente consolidada | 0,9998 | 100% |
| Arcilla blanda ligeramente consolidada y limos | 0,9988 | 100% |
| Arcillas firmes pre-consolidadas y arenas | 0,9877 | 100% |
| Arenas muy densas y arcillas firmes bajo altas presiones de confinamiento | 0,913 | 100% |

Fuente: Black y Lee (1973)

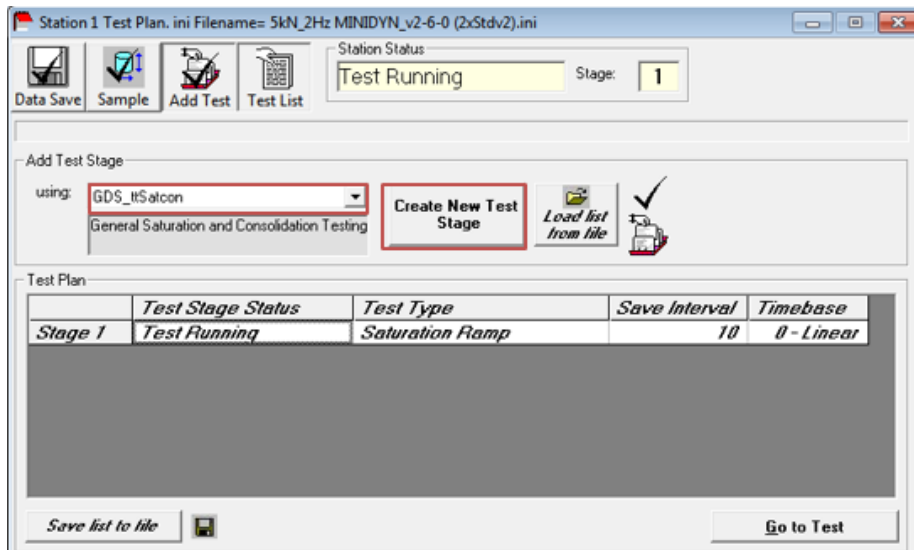
Para realizar el B-check se deben seguir los siguientes pasos:

- ✓ Dar click en Test Plan, sin pausar la prueba de saturación, luego en using escoger GDS_ttSatcon y por último dar click en Create New Test Stage.

Figura 170. Test Plan.

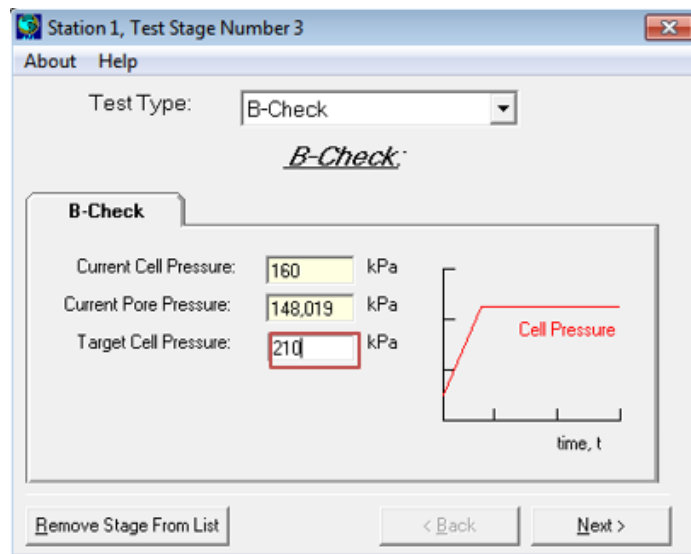


Figura 171. Creación de la etapa de B-check.



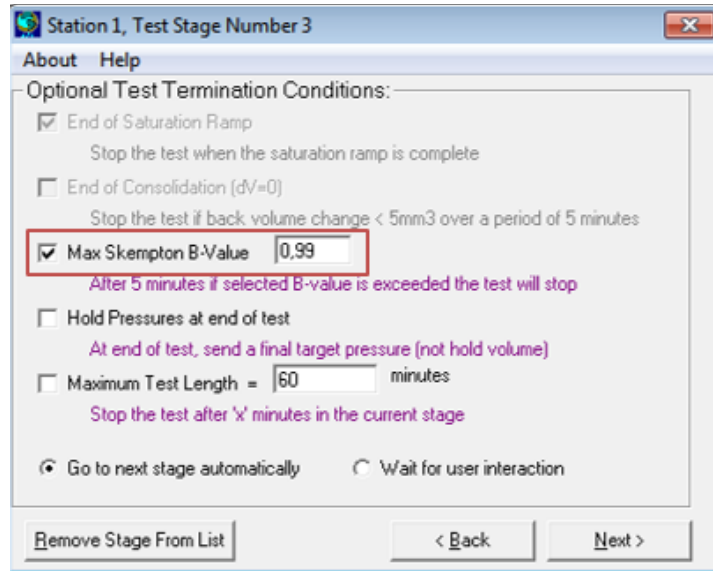
- ✓ Escoger B-check en Test type, luego ingresar el valor al que se incrementará la presión de cámara, se recomienda un incremento de 50 kPa según las normas británicas, 35 KPa y 70 kPa según las normas ASTM 3999 y ASTM5311 respectivamente, luego se da click en Next.

Figura 172. Etapa de B-check.



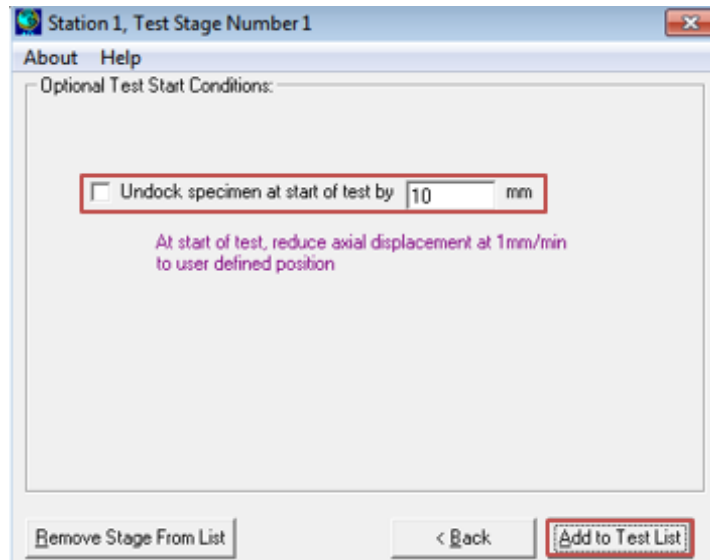
- ✓ Deshabilita la opción Hold Pressures at end of test, habilitar la opción Max Skempton B-Value, y colocar el valor de 0.99.

Figura 173. Opciones de terminación de pruebas para la etapa de B-check.



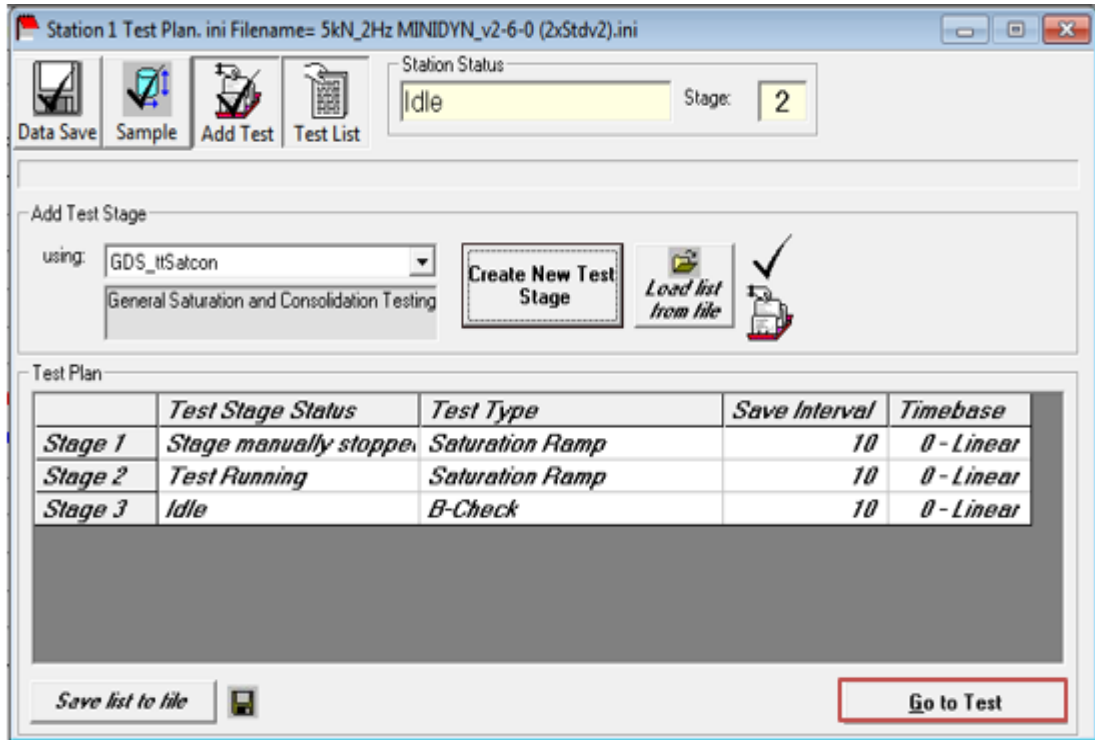
- ✓ Deshabilitar la opción Undock specimen at start of test by y dar click en Add to Test List

Figura 174. Opciones adicionales para la etapa de B-check.



- ✓ Se observa que la etapa de B-check fue creada, se da click en Go to Test

Figura 175. Etapa de B-check en la lista de pruebas.



- ✓ Sin pausar la anterior etapa que es rampa de saturación, dar click en Next Stage e inmediatamente cerrar la llave de contrapresión manteniendo la segunda llave de presión de poros cerrada.

Figura 176. Procedimiento para realizar la etapa de B-check.



Figura 177. Llave de presión de poros en la etapa de B-check.

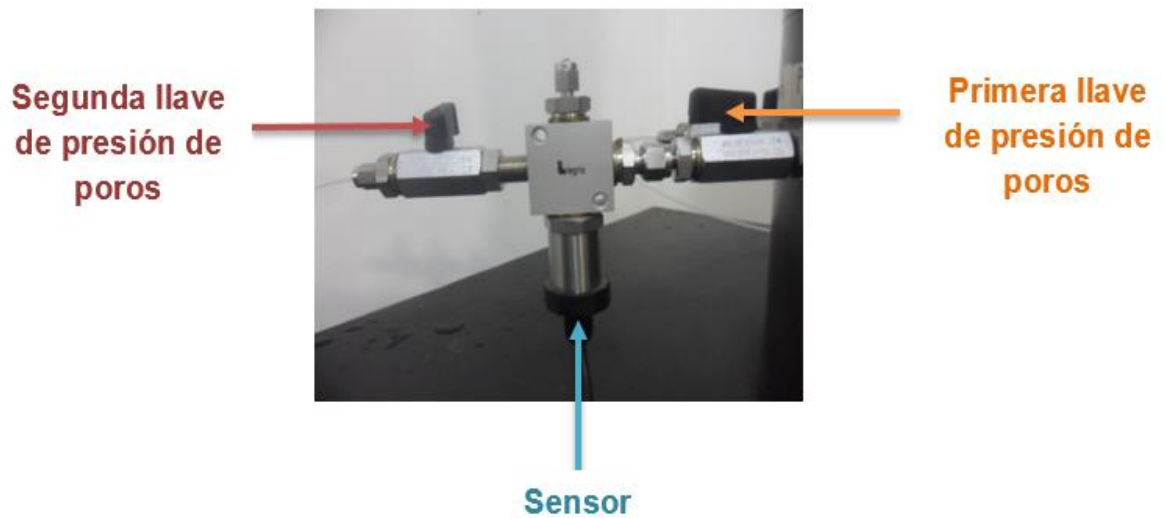


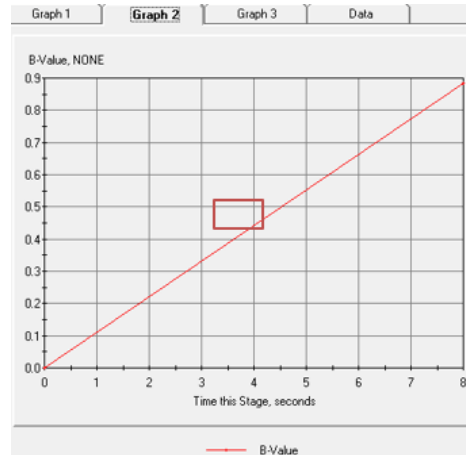
Figura 178. Llave de contrapresión en la etapa de B-check.



En Graph 2 aparecerá a grafica para B y su respectivo, para esto se debe:

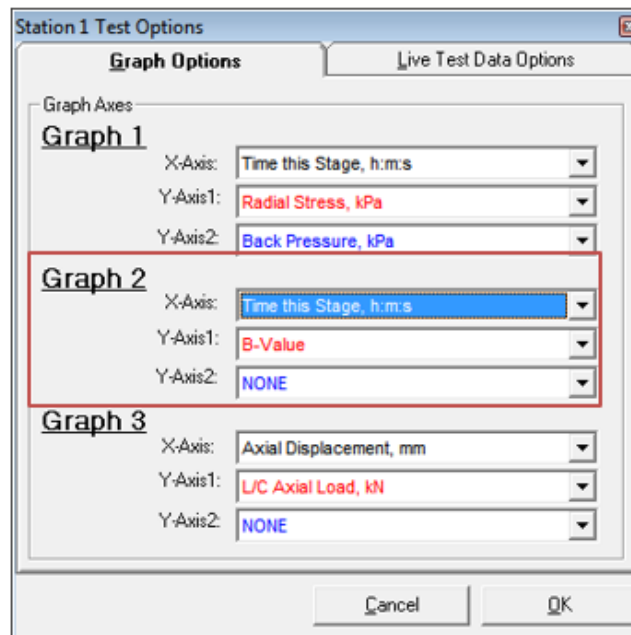
- ✓ Dar doble click sobre la grafica

Figura 179. Configuración de la gráfica.



- ✓ Configurar Graph 2: en X-Axis: tiempo de esta etapa (Time this Stage h, m,s), en Y-Axis: valor B (B-VALUE) y en Y-AXIS 2:ninguno (NONE).

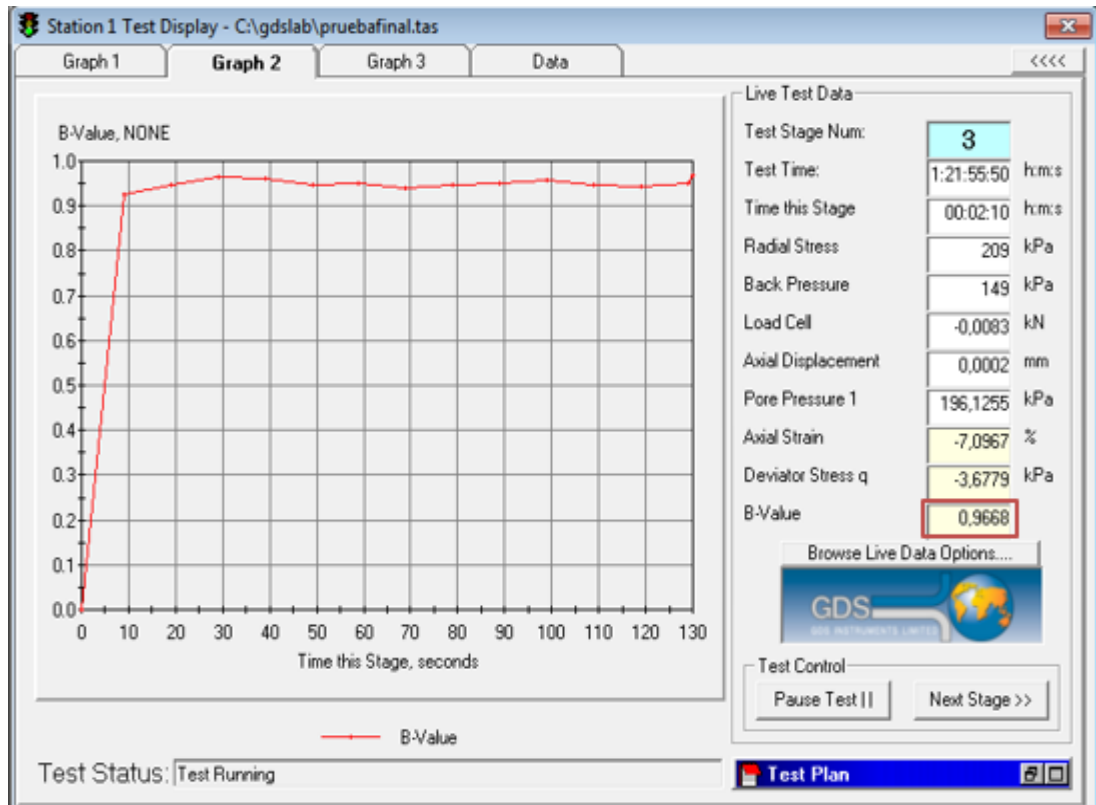
Figura 180. Configuración de la gráfica en la etapa de B-check.



✓ Se observa la siguiente gráfica:

Se recomienda que la duración máxima de la etapa b-check sea 10 minutos.

Figura 181. Gráfica tiempo VS. Valor B.

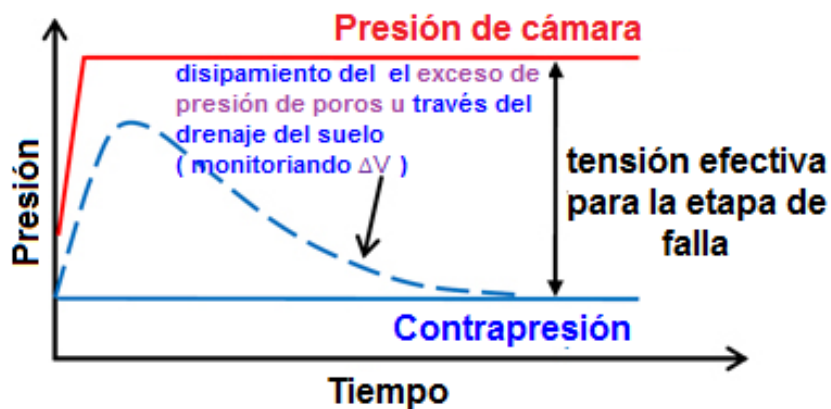


Si el valor da menor que el deseado debe realizarse una nueva etapa de saturación repitiendo el procedimiento descrito en el numeral 4.4, si el valor da mayo a 0.95 se procede a continuar con la consolidación de la muestra.

3.7 CONSOLIDACIÓN

La etapa de consolidación se utiliza para llevar la muestra al estado de esfuerzo efectivo requerido para la falla. Por lo general se lleva a cabo mediante el aumento de la presión de cámara mientras se mantiene una contrapresión constante (a menudo igual a la presión de poro alcanzado durante la B-check saturación final) ver figura 183,184 hasta que la diferencia entre la presión de cámara y la contrapresión sea igual al esfuerzo efectivo deseado, este proceso se continúa hasta que el cambio de volumen ΔV de la muestra ya no es significativa, y al menos 95% de la presión de poros en exceso se ha disipado ver figura 182²⁶.

Figura 182. Etapa de consolidación.



Fuente: White Paper: Introduction to Triaxial Testing. Disponible en: <http://www.gdsinstruments.com/information/white-paper-introduction-to-triaxial-testing>

²⁶ Parte 1 Introduction to Triaxial Testing PDF. 1 de 3

Figura 183. Mecanismo del controlador de contrapresión en la etapa de consolidación.

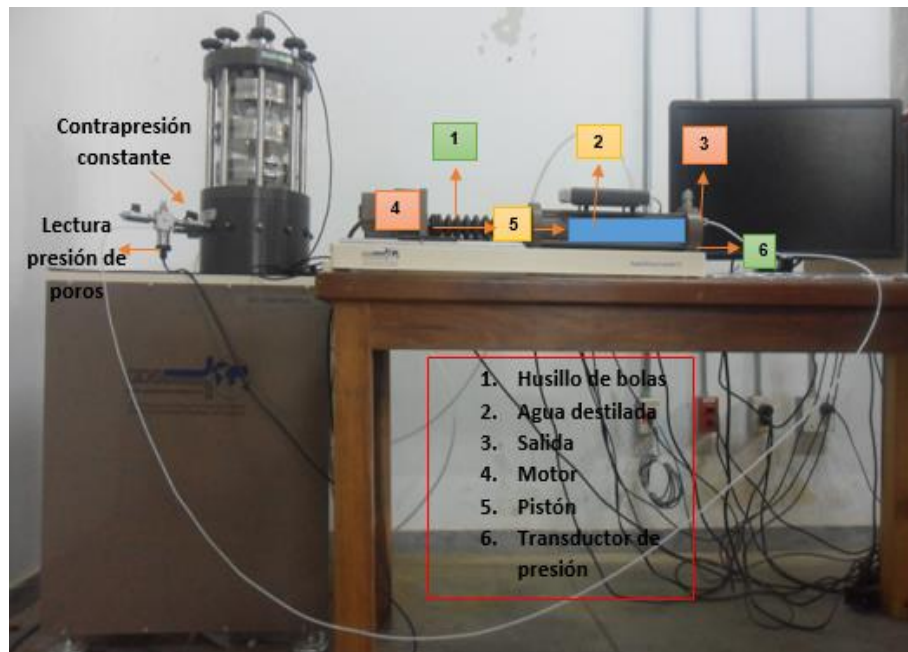
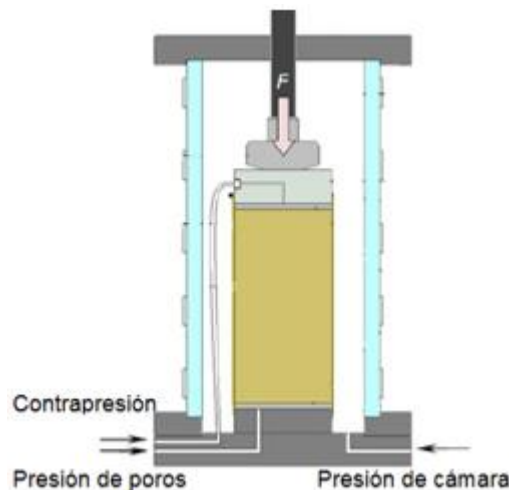


Figura 184. Mecanismo del controlador de presión de cámara en la etapa de consolidación.



Al estar la llave abierta de contrapresión el controlador tiene la capacidad de mantener constante el valor de la contrapresión. Al aumentar la presión de cámara (σ_3) y consolidar la muestra el controlador de contrapresión empieza a absorber el agua que equivale al cambio de volumen ver figura 185.

Figura 185. Sistema de mangueras.



Fuente: White Paper: Introduction to Triaxial Testing. Disponible en: <http://www.gdsinstruments.com/information/white-paper-introduction-to-triaxial-testing>

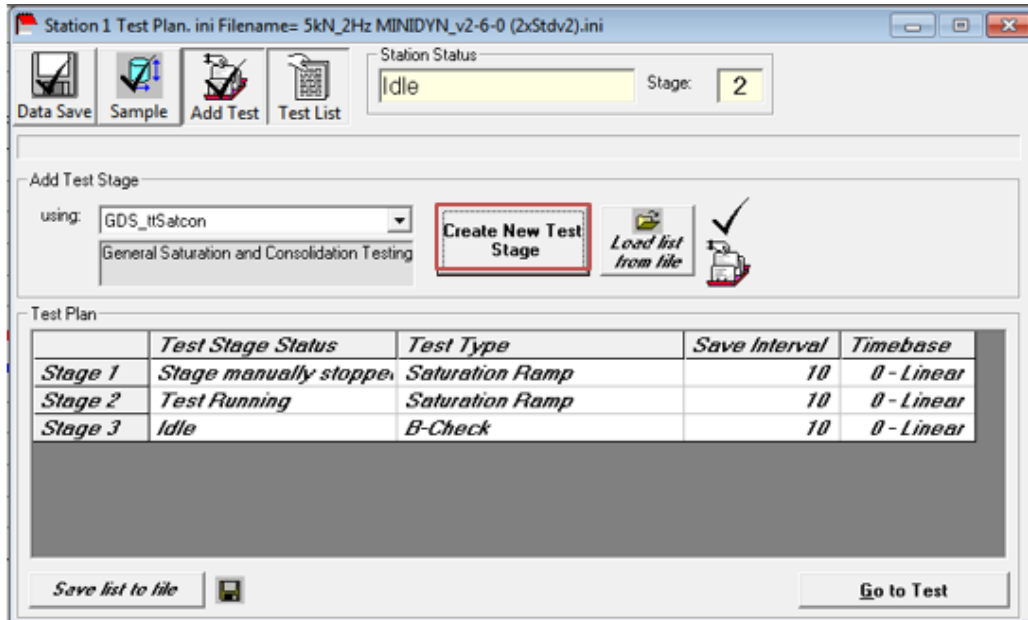
Para realizar la etapa de consolidación se deben seguir los siguientes pasos:

- ✓ Dar click en test Plan, escoger en using la opción GDS ttSatcon y por último dar click en Create New Test Stage.

Figura 186. Test Plan

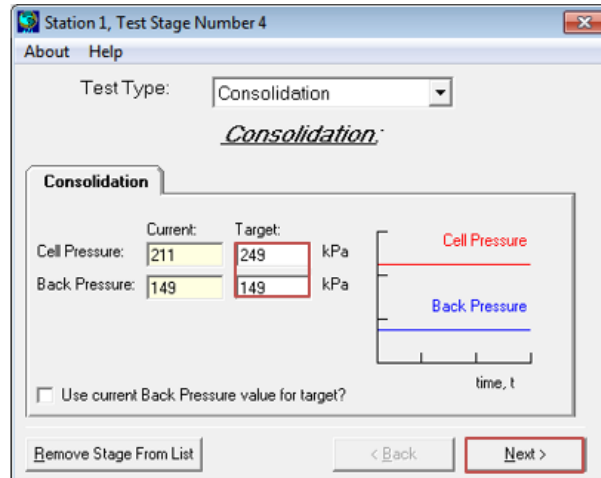


Figura 187. Creación de la etapa de Consolidación.



- ✓ Escoger Consolidation en Test Type, luego ingresar el valor de contrapresión obtenido al final de la etapa anterior. Para obtener el valor de presión de cámara se debe escoger el esfuerzo efectivo, para luego sumárselo a la contrapresión finalizar dando click en Next, por ejemplo:

Figura 188. Etapa de consolidación.



Contrapresión = 149 Kpa

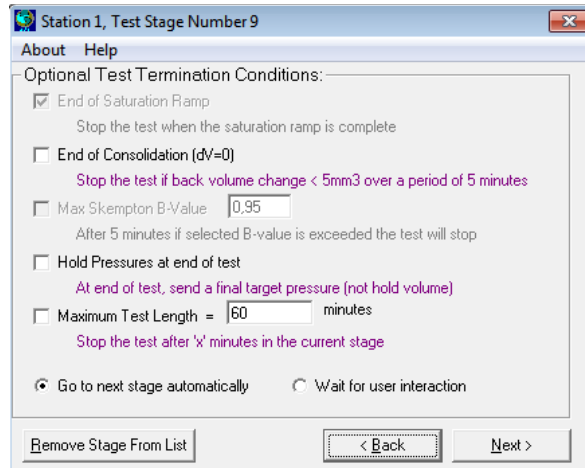
Esfuerzo efectivo deseado = 100 Kpa

Presión de cámara = Contrapresión (Kpa) + Esfuerzo efectivo deseado(Kpa)

Presión de cámara = 149(Kpa) + 100(Kpa) = 249Kpa

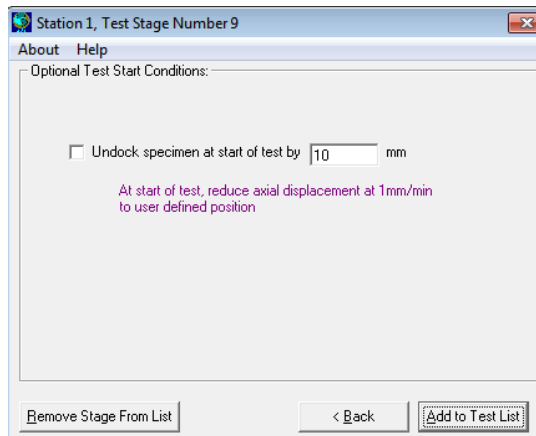
✓ Deshabilitar las opciones: End of Consolidation (dV=0) y Hold Pressures at end of test, luego se da click en Next

Figura 189. Etapas de terminación de la prueba en la etapa de consolidación.



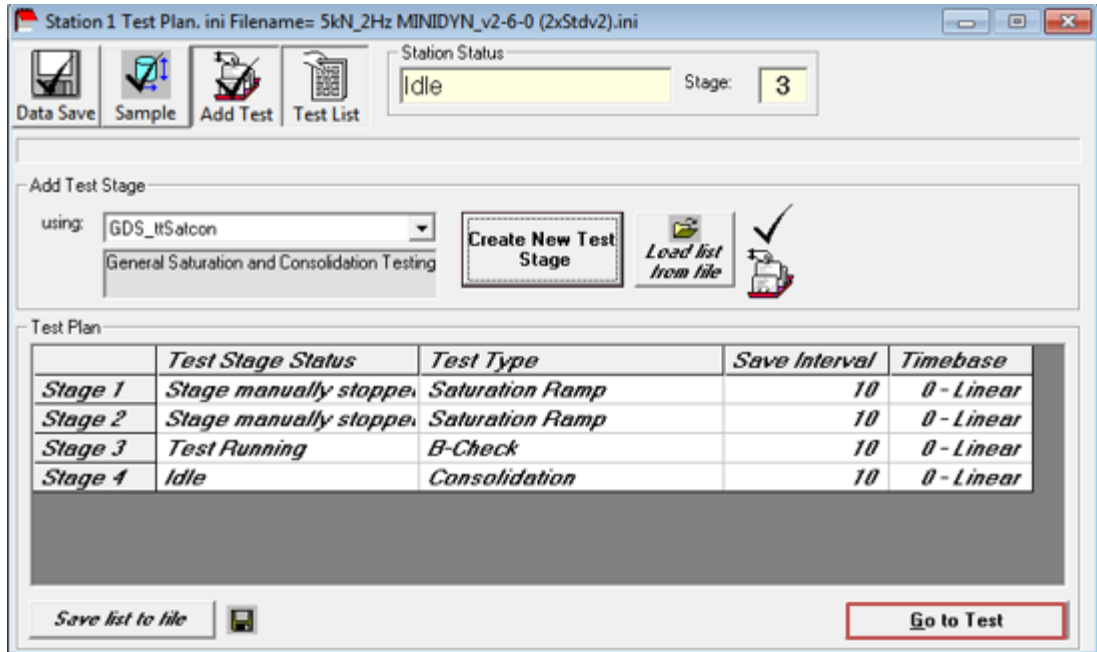
- ✓ Deshabilitar la opción Undock specimen at star of test by, luego dar click en Add to Test List

Figura 190. Condiciones opcionales de la prueba



- ✓ Se observa que la etapa de consolidación fue creada y se encuentra en la lista de pruebas, dar click en Go to the Test ver Stage 4

Figura 191. Etapa de consolidación en la lista de pruebas.



- ✓ Sin pausar la anterior etapa que es B-check, se da click en next stage e inmediatamente se abre la llave de contrapresión y se mantiene la primera llave de presión de poros abierta y la segunda cerrada.

Figura 192. Next Stage.

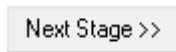


Figura 193. Llave de presión de poros en la etapa de consolidación.

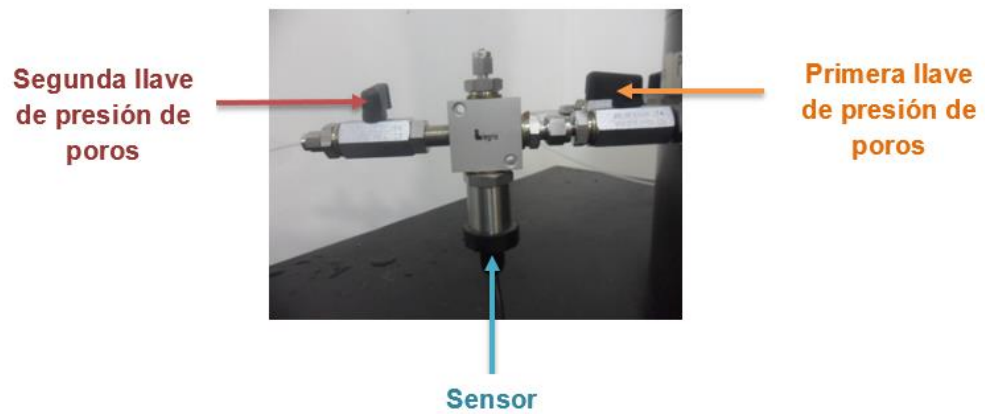


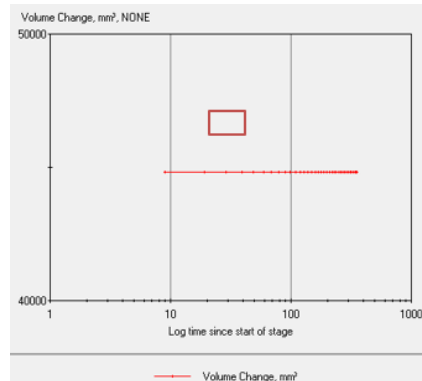
Figura 194. Llave de contrapresión en la etapa de consolidación.



Para configurar la gráfica de consolidación:

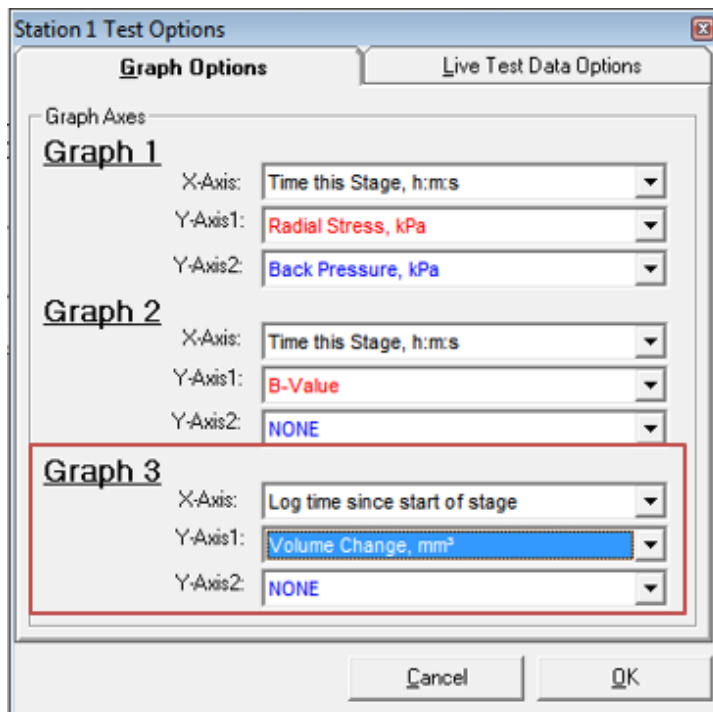
- ✓ Dar doble click en la grafic

Figura 195. Configuración de la gráfica.



- ✓ Configurar Graph 3 de la siguiente manera: en X-Axis: log time since start of Stage, en Y-Axis1: Volumen Change, mm³ y en Y-Axis2:NONE.

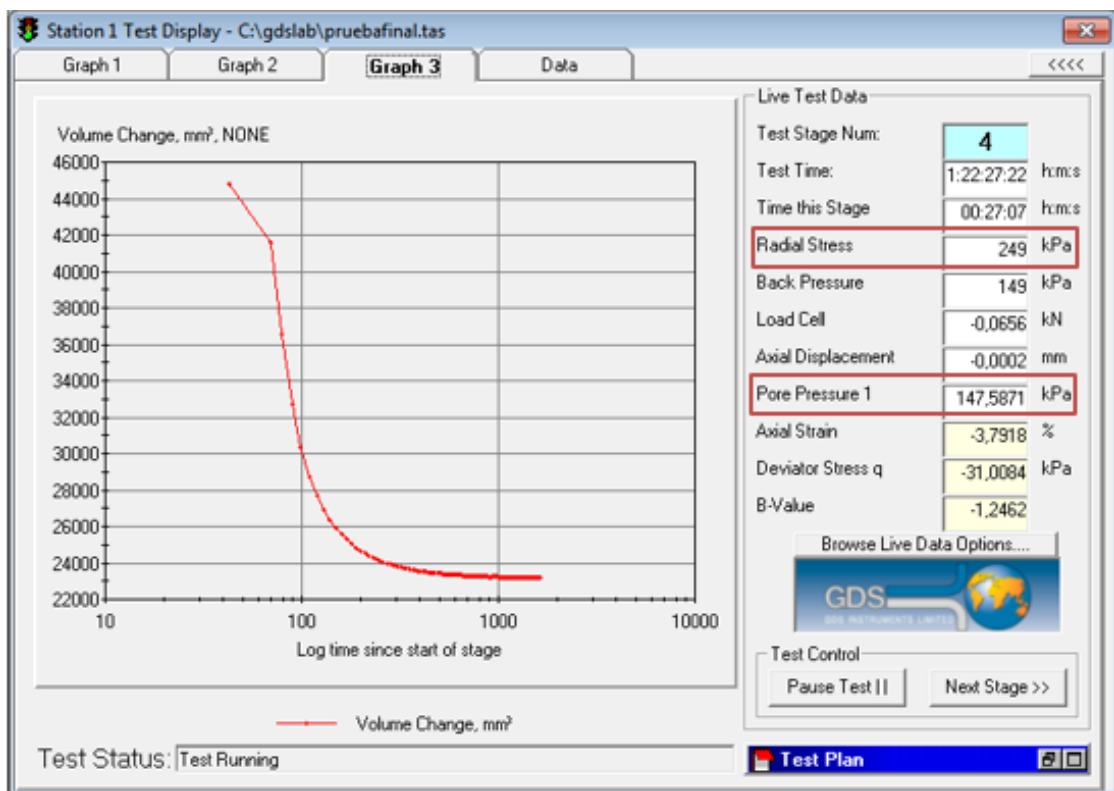
Figura 196. Configuración de la gráfica en la etapa de consolidación.



✓ Se obtiene la siguiente grafica

El indicativo que la consolidación está terminada es cuando la curva sea constante, además cuando la resta entre Radial Stress y pore pressure 1 arroje el valor de esfuerzo efectivo deseado planteado al ingresar los datos de presión y contrapresión.

Figura 197. Gráfica de Log tiempo Vs. Cambio en el volumen.



NOTA: según la norma ASTM 5311 si la consolidación tarda más de 8 horas, se debe hallar de nuevo el valor B Skempton.

Es posible obtener las gráficas de Casagrande y Taylor de la siguiente manera:

- ✓ Dar click derecho en la gráfica y luego en Consolidation Analysis (Current Stage)

Figura 198. Procedimiento para obtener graficas de Casagrande y Taylor.

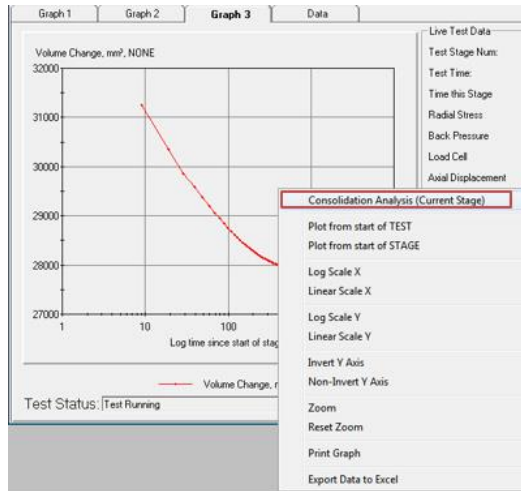
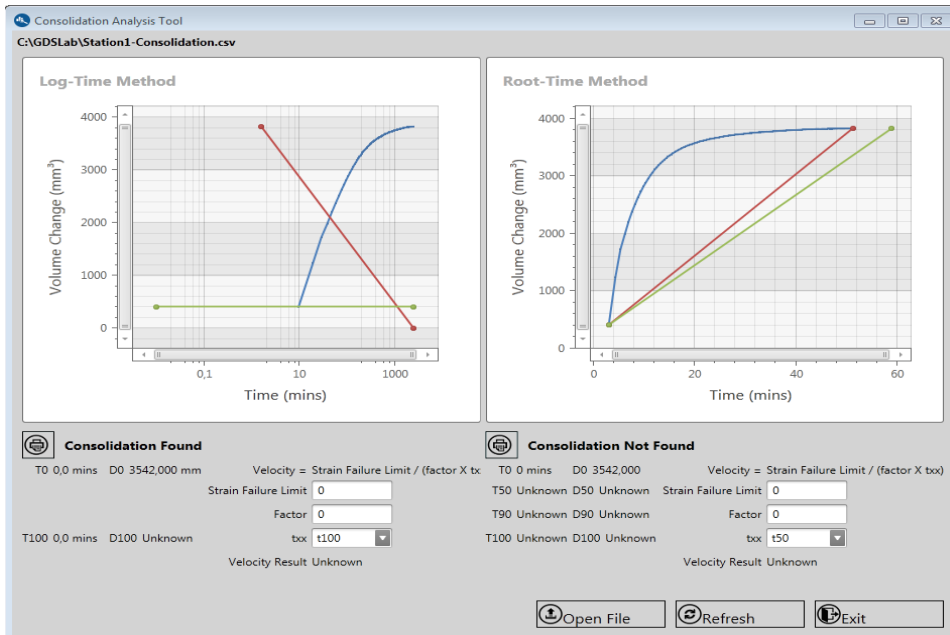


Figura 199. Graficas de Casagrande y Taylor respectivamente.



3.8 APLICACIÓN DE LA CARGA CÍCLICA

Esta etapa se realiza con el objetivo de observar, analizar y comprender el comportamiento del suelo ante cargas dinámicas con formas sinusoidales de una sola frecuencia como las mostradas en la tabla No.3. Según la norma ASTM 3999 el ensayo debe realizarse para frecuencias de 0.5 Hz a 1 Hz, mientras que para la norma ASTM 5311 para frecuencias 0.1 Hz a 2 Hz preferiblemente 1 Hz, ver figura 200.

Figura 200. Etapa de Carga dinámica.



Tabla 3. Típicos rangos de frecuencia para diferentes cargas

| TIPO DE CARGA | TÍPICA FRECUENCIA DE LA PRUEBA |
|----------------------|--------------------------------|
| Acción de las olas | 0.1 Hz |
| Acción del viento | 0.1-1Hz |
| Terremoto | 1 Hz |
| Tránsito ferroviario | >1Hz |
| Maquinaria vibrante | =<20 Hz |

Adaptado de <http://www.gdsinstruments.com/information/white-paper-dynamic-triaxial-testing>

Esta etapa se puede realizar por carga o amplitud constante.

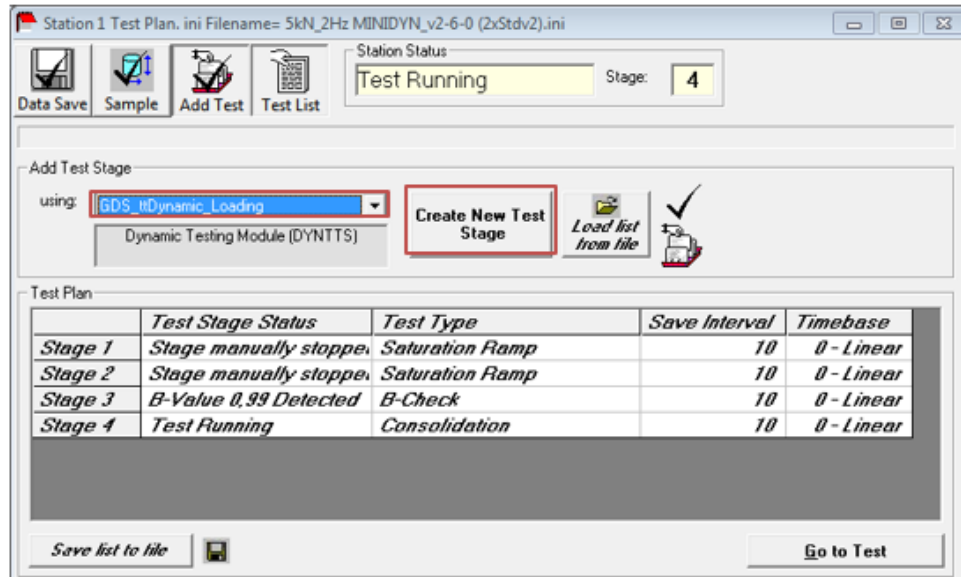
Para aplicar a la muestra ya sea una carga o un desplazamiento se deben seguir los siguientes pasos:

- ✓ Dar click en Test Plan, luego escoger GDS ttDynamic Loading en using y por último dar click en Create New Test Stage.

Figura 201. Test Plan.

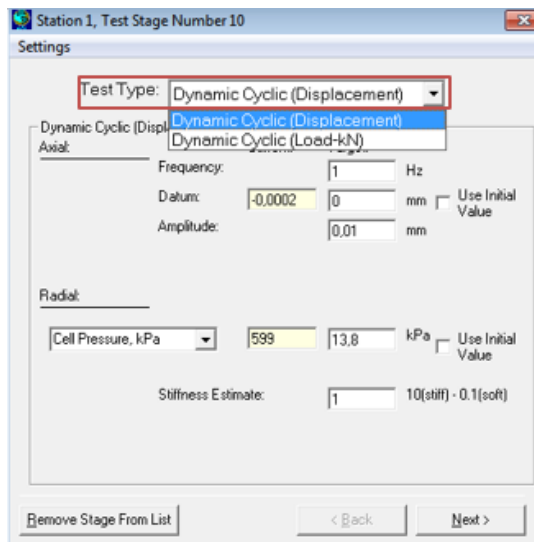


Figura 202. Creación de la etapa de carga cíclica.



- ✓ Escoger el procedimiento por el cual se realizará: desplazamiento o carga constante

Figura 203. Procedimiento para realizar la etapa de carga cíclica.



➤ Por desplazamiento:

- ✓ Se debe ingresar los valores de amplitud ver tabla No.4 a la que se someterá la muestra, y la frecuencia. Es importante saber que el valor de datum siempre debe ser 0, puesto que este es el origen, se debe ingresar el mismo valor de la presión de cámara.

Tabla 4. Amplitudes a ingresar.

| Amplitud (mm) | No. Ciclos |
|---------------|------------|
| 0,035 | 10 |
| 0,05 | 10 |
| 0,08 | 10 |
| 0,13 | 10 |
| 0,24 | 10 |
| 0,4 | 10 |
| 0,6 | 10 |
| 1 | 10 |
| 2 | 10 |

Por ejemplo, para una amplitud de 0,035:

Figura 204. Ingreso datos en la etapa de carga cíclica por desplazamiento.

Station 1, Test Stage Number 10

Settings

Test Type: Dynamic Cyclic (Displacement)

Dynamic Cyclic (Displacement Control)

Axial:

| | | | |
|------------|------------|-----------|---|
| Frequency: | Current: 1 | Target: 1 | Hz |
| Datum: | -0.0002 | 0 | mm <input type="checkbox"/> Use Initial Value |
| Amplitude: | | 0.035 | mm |

Radial:

| | | | |
|--------------------|-----|-----|--|
| Cell Pressure, kPa | 599 | 599 | kPa <input type="checkbox"/> Use Initial Value |
|--------------------|-----|-----|--|

Stiffness Estimate: 1 10(stiff) - 0.1(soft)

Remove Stage From List < Back Next >

- ✓ Ingresar la cantidad de ciclos a analizar (TOTAL Cycles), la cantidad de puntos a dibujar en la gráfica (Points per Cycle), la cantidad de ciclos que se tomaran en cuenta (Cycles ON), y los ciclos que se apagaran al inicio y al final (Cycles OFF), esto se hace para evitar grandes cantidades de datos a analizar, luego se da click en Add to Test List

NOTA: La norma ASTM 3999 menciona que la cantidad de ciclos a analizar debe ser 40, pero para este ensayo se trabajaron con 10 gracias a que la experiencia mostro que con esta cantidad es posible alcanzar las amplitudes mostradas en la tabla No.5.

Figura 205. Condiciones de terminación de la etapa de carga cíclica por desplazamiento.

Station 1, Test Stage Number 10

Settings

Back Pressure

Hold Volume (default) Current: 445 Target: 0 kPa

Maintain Target Pressure Use Initial Value

Optional Test Termination Conditions:

TOTAL Cycles: 10 Cycles ON: 8

Stop test after x no. of cycles Num cycles to save data for

Points per Cycle: 500 Cycles OFF: 1

Data Points saved per cycle Num cycles to not save data

At end of test, send a final target instead of a Hold:

Hold Load Hold Cell Pressure Hold Back Pressure

Cyclic Strain Limit 0 Stops after % strain reached

Progressive Strain Limit 0 Stops after % strain reached

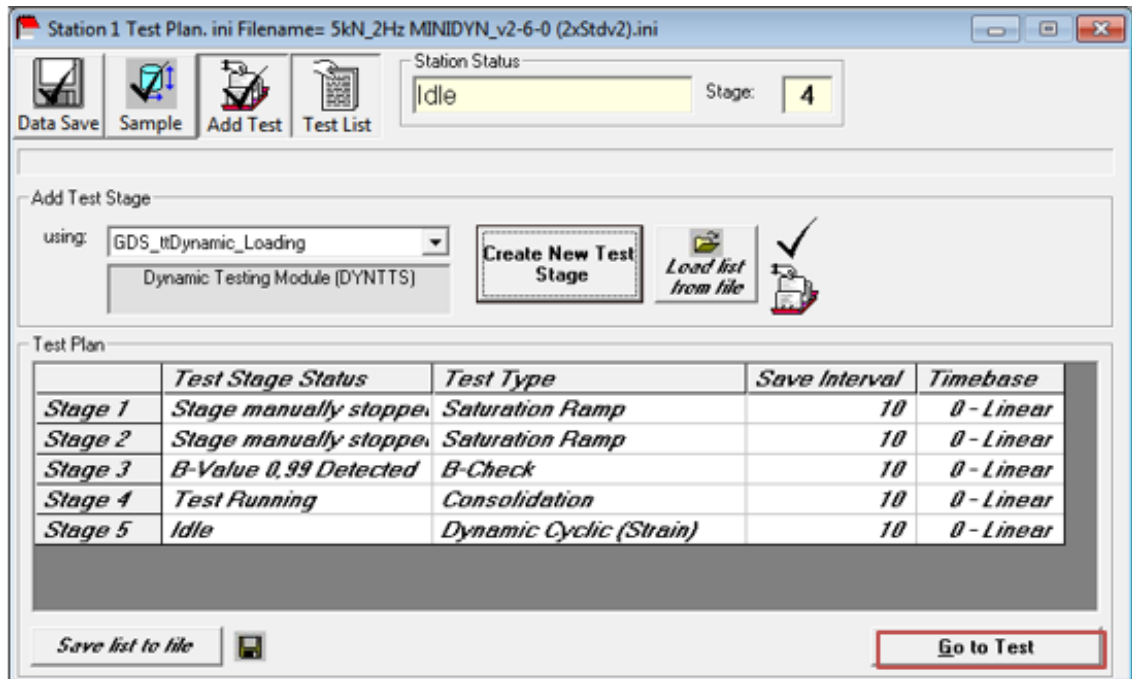
Turn off the physical control system (if applicable)

Go to next stage automatically Wait for user interaction

Remove Stage From List < Back Add to Test List

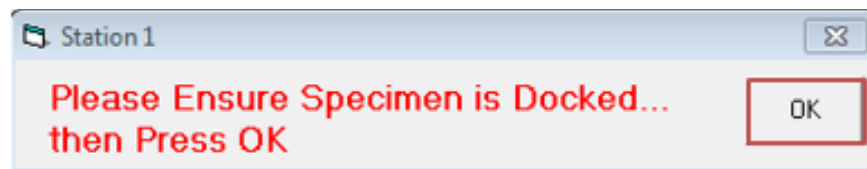
✓ Se observa que la prueba de carga Stage 5 dinámica ya aparece en la lista de pruebas, se da click en Go to Test

Figura 206. Etapa de carga cíclica por desplazamiento en la lista de pruebas



- ✓ Aparece el siguiente anuncio, que dice que la muestra ha sido dockeada, es decir se le ha realizado una corrección en sus dimensiones, se da click en OK ver figura 207.

Figura 207. Muestra ha sido dockeada



- ✓ Aparecerán las nuevas dimensiones de la muestra:

Figura 208. Nuevas dimensiones de la muestra.

Station 1

Please Ensure Specimen is Docked...
then Press OK

Please confirm new height upon docking (axial displacement and back volume will then be set to zero)

| | | | |
|------------------|----------|---|----------|
| Initial Height | 100,0002 | Current Height (New initial height) | 104,5022 |
| Initial Diameter | 49,9999 | Current Diameter (New initial diameter) | 52,2509 |

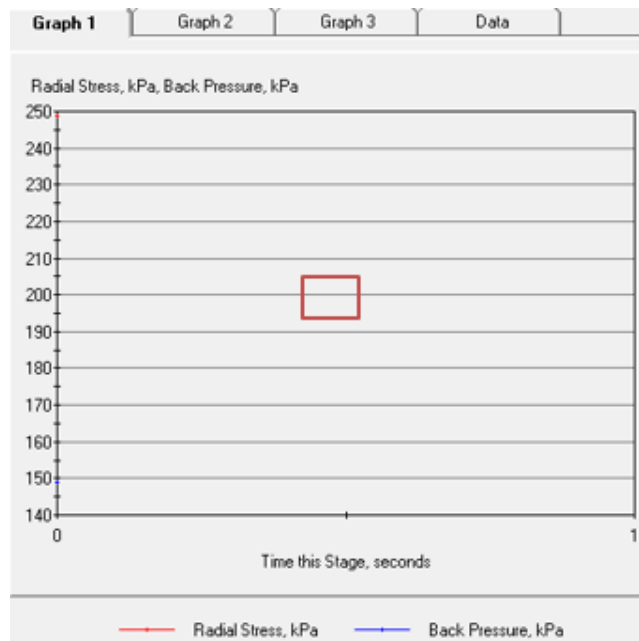
Use original values

OK

Para configurar la gráfica (Graph 1):

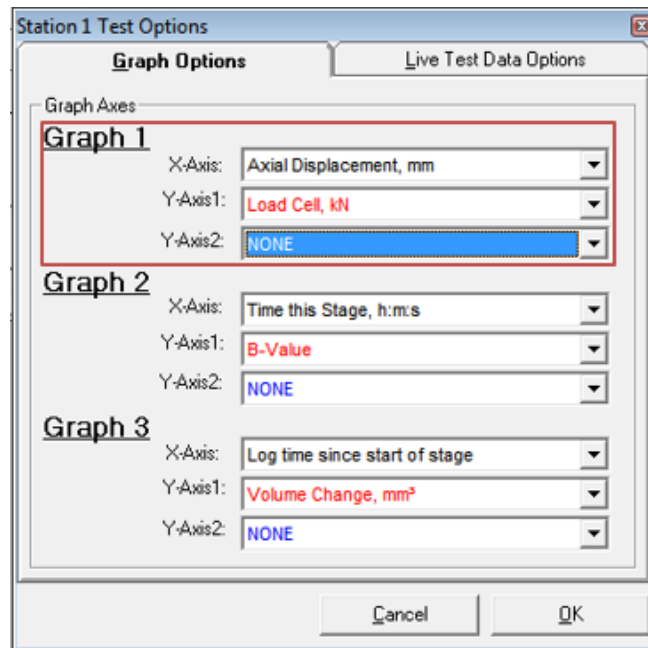
- ✓ Dar click en la gráfica

Figura 209. Configuración de la gráfica.



- ✓ Configurar Graph 1 de la siguiente manera: en X-Axis: Axial Displacement,mm, en Y-Axis1: Load Cell,kN y en Y-Axis2:NONE.

Figura 210. Configuración de la gráfica en la etapa de carga dinámica.



- ✓ Sin pausar la anterior etapa que es consolidación, se da click en Next Stage e inmediatamente se cierra la llave de contrapresión manteniendo la segunda llave de presión de poros cerrada y la primera llave abierta.

Figura 211. Next Stage.

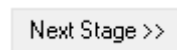


Figura 212. Llave de presión de poros en la etapa Carga dinámica.

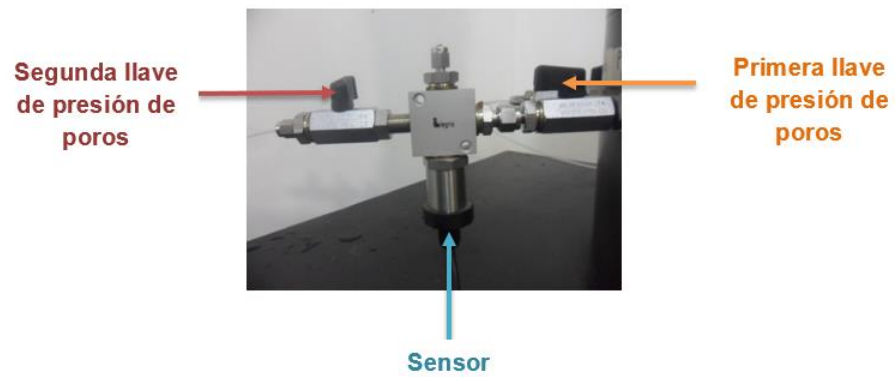


Figura 213. Llave de contrapresión en la etapa de Carga dinámica.



- ✓ Se observa el diagrama de histéresis para la amplitud y la cantidad de ciclos dados.

Figura 214. Diagrama de histéresis.

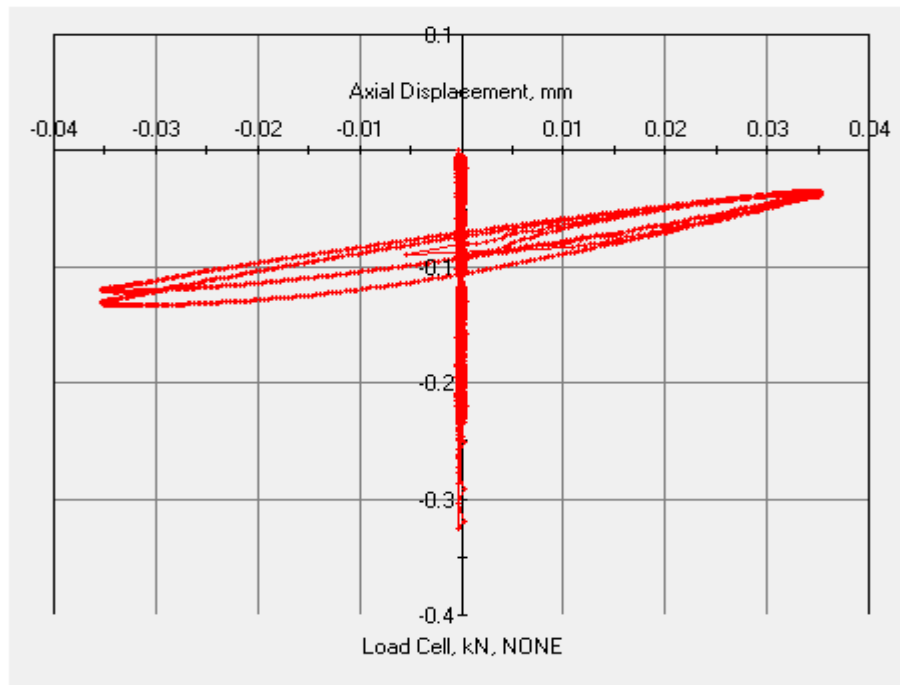
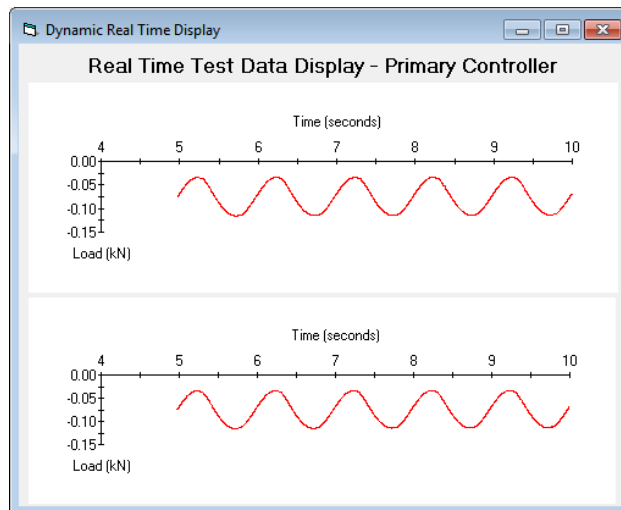
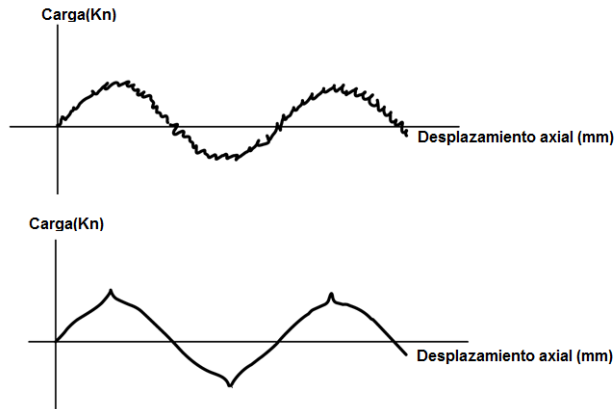


Figura 215. Ciclos



NOTA: Según la norma ASTM 3999 son inaceptables las formas de ondas sinusoidales mostradas en la Figura 216.

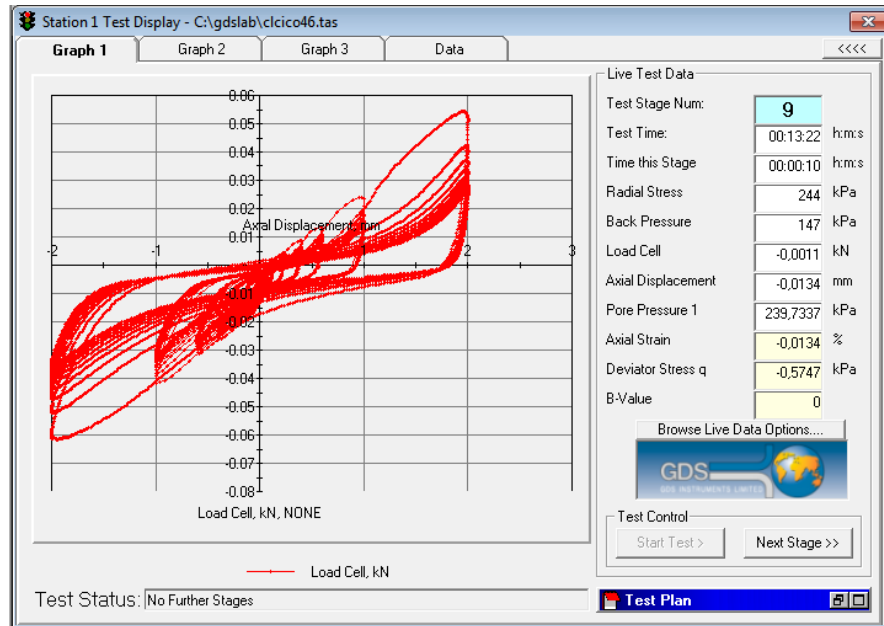
Figura 216. Formas de ondas sinusoidales inaceptables.



Fuente: ASTM 3999

- ✓ Después de realizar un par de etapas de carga dinámica, se observa varios diagramas de histéresis en la misma gráfica.

Figura 217. Diagrama de histéresis.



3.9 APLICACIÓN DEL ESFUERZO DESVIADOR (FALLA DE LA MUESTRA)

NOTA: Esta etapa no se menciona en las normas ASTM 3999 y ASTM 5311, pero se deja por si es necesario realizarla.

Se aplica un esfuerzo axial a la muestra a un ritmo constante a través de la compresión (cuando el pedestal sube) o extensión (cuando el pedestal baja) ver figura 218. La condición de drenaje depende del tipo de prueba triaxial que se esté realizando. La tabla 5 resume las condiciones para cada tipo de prueba²⁷.

Figura 218. Etapa de falla.



²⁷ Parte 1 Introduction to Triaxial Testing PDF. 1 de 3

Tabla 5. Condiciones durante la etapa de falla

| TIPO DE PRUEBA | TASA DE ESFUERZO AXIAL | LLAVE DE CONTRAPRESIÓN |
|----------------|--|--|
| UU | Normalmente la más rápida, llegando al criterio de falla en 5 - 15 minutos | Cerrado, no hay exceso de medición de presión de poro |
| CU | Lo suficientemente lento como para permitir la adecuada compensación de exceso de presiones de poros | cerrado, Registrado el exceso de la presión de los poros |
| CD | Lo suficientemente lento como para provocar una variación de presión de poro insignificante | Abrir, Registrando ΔV manteniendo constante la contrapresión |

Fuente: White Paper: Introduction to Triaxial Testing. Disponible en: <http://www.gdsinstruments.com/information/white-paper-introduction-to-triaxial-testing>

La respuesta de muestras durante la etapa de falla se controla normalmente mediante el trazado de la gráfica de q esfuerzo desviador o de la relación de los esfuerzos principales $\frac{\sigma_1}{\sigma_3}$ vs la deformación axial ϵ_a . La etapa se continúa hasta que se ha alcanzado un criterio de rotura especificada, la cual puede incluir identificar el esfuerzo máximo desviador o esfuerzo constante y el exceso de presión de poros / valores de cambio de volumen, o simplemente un valor específico de la deformación axial siendo alcanzado (por ejemplo, $\epsilon_a = 20\%$)²⁸.

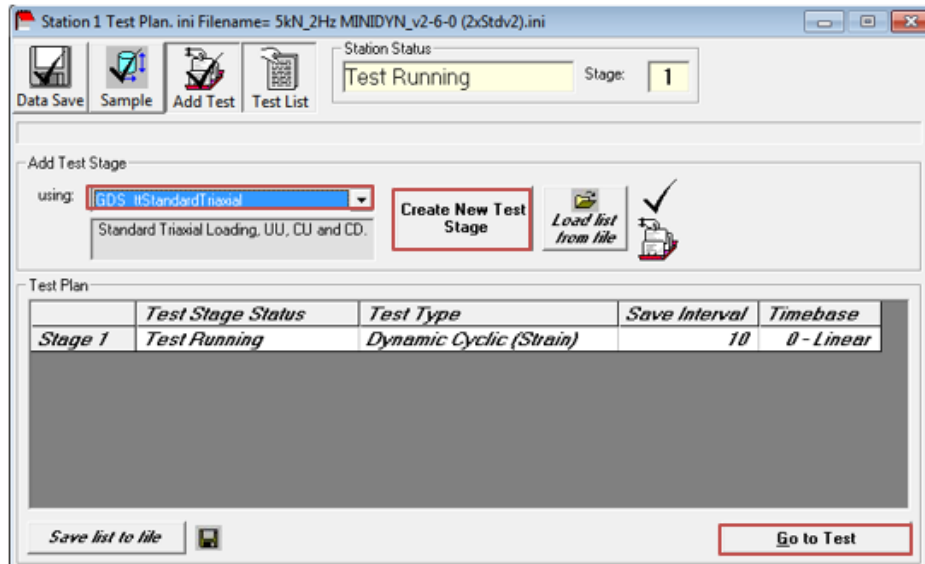
- ✓ Dar click en Test Plan, para crear la etapa de falla se selecciona GDS ttStandardTriaxial en using, por último se da click en Create New Test Stage.

Figura 219. Test Plan.



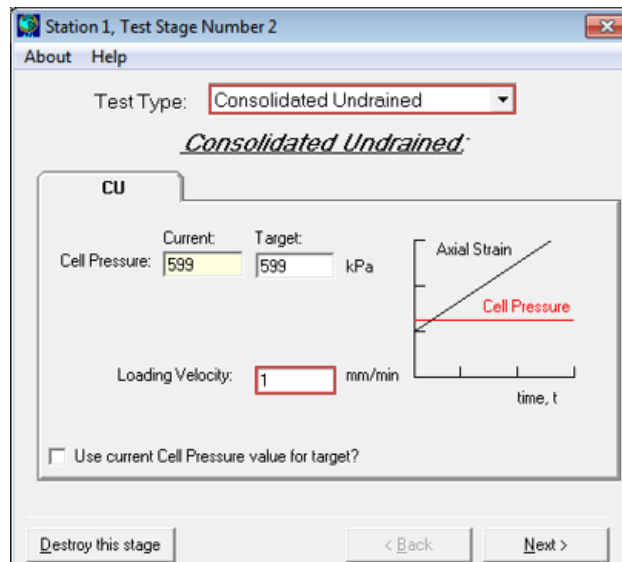
²⁸ Ibid

Figura 220. Creación de la etapa de falla.



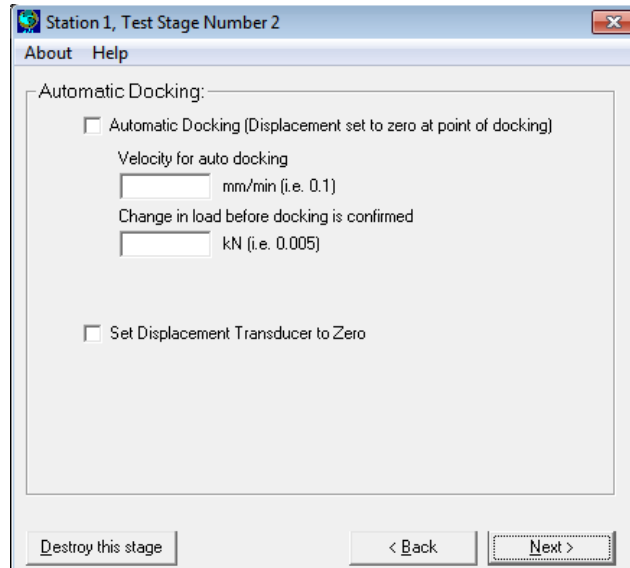
- ✓ Escoger el tipo de ensayo que se está trabajando (CU, UU, CD) en Test Type, además ingresar la velocidad a la que se realizará la falla

Figura 221. Ingreso de datos en la etapa de falla.



- ✓ No se habilitan ni se digita ningún valor.

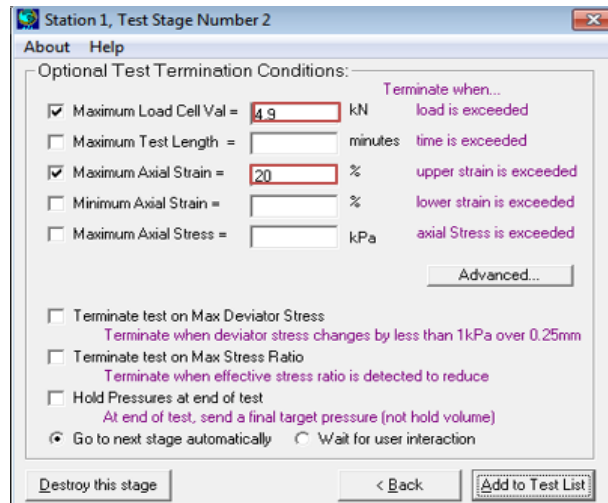
Figura 222. Falla automática.



Ingresar las condiciones de terminación de la prueba:

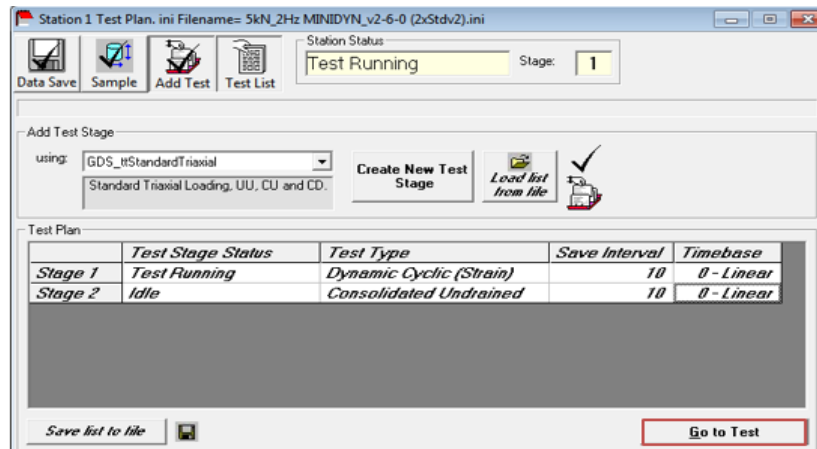
- ✓ En este caso se ingresa el máximo valor de carga para la celda que es 4.9 Kn, porque la celda usada es de 5 Kn, es importante ingresar este valor, si no se hace es posible que se pueda llegar a dañar la celda. Se ingresa el máximo valor de deformación unitaria, en este caso 20% por recomendación de las normas británicas, por último, Se da click en Add to test list

Figura 223. Parámetros de terminación de la etapa de falla.



- ✓ Se observa que la etapa de falla creada aparece en la lista de pruebas, se da click en Go to Test

Figura 224. Etapa de falla en la lista de pruebas.



- ✓ Sin pausar la anterior etapa que es la aplicación de carga o amplitud constante, dar click en Next Stage manteniendo la segunda llave de presión de poros y la llave de contrapresión cerrada y la primera llave de presión de poros abierta.

Figura 225. Llave de presión de poros en la etapa falla.

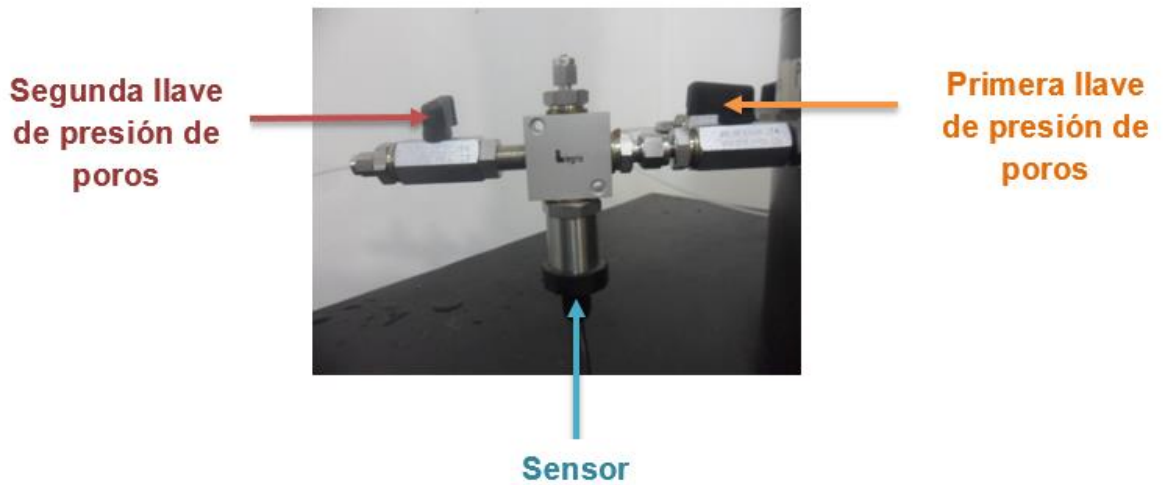
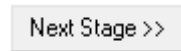


Figura 226. Llave de contrapresión en la etapa de falla.

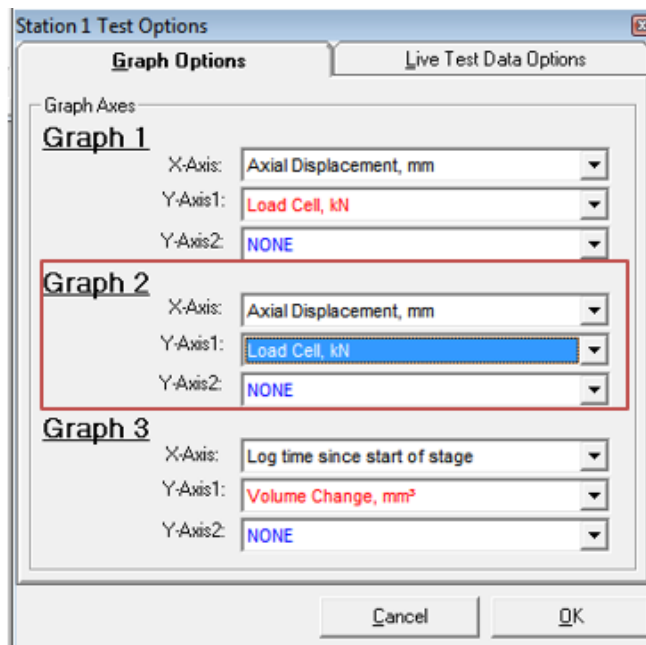


Figura 227. Next Stage



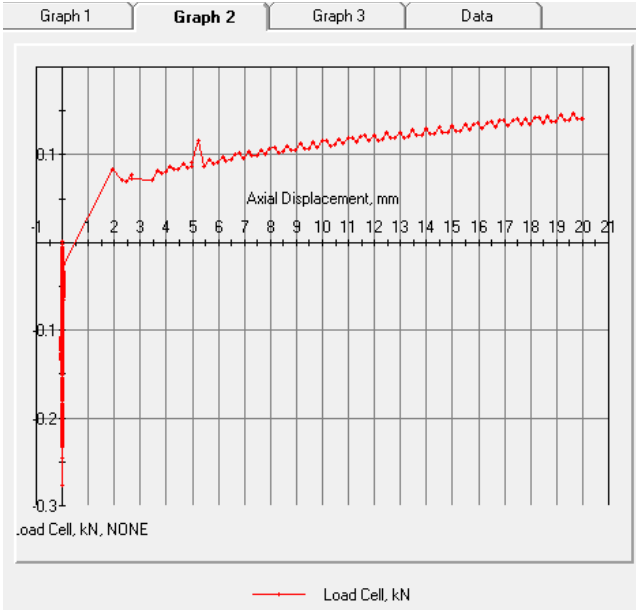
- ✓ Configura de la siguiente manera Graph 2: en X-Axis: Axial Displacement,mm, en Y-Axis1: Load Cell,kN y en Y-Axis2:NONE.

Figura 228. Configuración de la gráfica en la etapa de falla.



- ✓ Por último, se obtiene la gráfica de falla:

Figura 229. Gráfica de desplazamiento axial Vs. Carga de la celda.



4. CONCLUSIONES

Los ensayos triaxiales cíclicos actualmente son una herramienta indispensable en la ingeniería, por tal razón, la buena elaboración de estos procedimientos nos permite optimizar los diseños y mejorarlos. Es importante tener claro la preparación, montaje y recomendaciones al momento de la realización del ensayo, para así, alcanzar mejores resultados.

Las propiedades dinámicas de los suelos y su determinación, expuestos en este proyecto, constituyen solo una parte de un estudio mucho más amplio para realización de análisis completos sobre problemas referentes a la geotecnia e ingeniería sísmica y los fenómenos asociados con estos eventos como la licuefacción.

Con pruebas de laboratorio como la triaxial cíclica, y aplicando las normas ASTM 3999 o ASTM 5311 se obtienen las principales propiedades dinámicas del suelo de interés ingenieril: el módulo de young y el coeficiente de amortiguamiento; los cuales son parámetros importantes para todo tipo de estructuras a diseñar.

Se debe evitar la presencia de aire en los ductos, por tal razón se recomienda usar agua destilada para la elaboración del ensayo, además de esto es necesario realizarle un purgado a las mangueras que conectan cada uno de los controladores con el equipo, ya que el objetivo principal es evitar que durante el ensayo queden burbujas de aire, lo cual puede ser causante de error en los resultados obtenidos.

Es fundamental revisar que el equipo no este registrando ningún error al momento de iniciar el ensayo; si no se verifica se realizara el ensayo de manera errónea y se obtendrán resultados incoherentes.

Si lo amerita es posible realizar la etapa de falla de la muestra, ya que las normas ASTM 3999 y ASTM 5311 no la incluyen.

Es necesario realizar la menor cantidad de rampas de saturación, con el objetivo de alterar la muestra lo menos posible.

El adecuado contacto con las muestras al moldear/remodelar, y al colocarlas en la cámara, manteniendo sus propiedades, permitirá que esta sea alterada lo menos posible, permitiendo así cumplir el objetivo de obtener resultados reales.

BIBLIOGRAFÍA

Access Rings. Disponible en: <http://www.gdsinstruments.com/gds-products/access-rings>

Asociación Costarricense de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones [1994] Código de Cimentaciones de Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica. P. 150

ASTM 3999-11 – Método de prueba Estándar para la determinación del Módulo y Amortiguamiento del Suelo usando el Aparato Triaxial Cíclico (Standard Test Methods for the Determination of the Modulus and Damping Properties of Soils Using the Cyclic Triaxial Apparatus).

ASTM 5311-11 – Método Estándar de Prueba para Resistencia Triaxial Cíclica Controlada por Cargas (Standard Test Method for Load Controlled Cyclic Triaxial Strength os Soil.

Bran Sánchez, José Guillermo; Gonzales Cruz, Rafael Antonio; Ortiz Landaverde, Hugo Alejandro. Métodos de ensayos para la determinación de las principales propiedades dinámicas de los suelos del Salvador. Universidad de el Salvador. [Tesis de Pregrado]. 2009.

Campos Sigüenza, Antonio; Vásquez Huamani, Oscar. CISMID-FIC-UNI, Seminario Taller de Mecánica de Suelos y Exploración Geotécnica, 1992.

DYNTTS-datasheet.pdf

Fenómeno de Licuefacción de Suelos. Disponible en: http://www.portalhuarpe.com.ar/medhime20/Talleres/TALLERES%20CUIM/Taller%2013/03%20licuefaccion/que_es_la_licuefaccion_de_suelos.html [citado 24 Enero 2014]

Hydraulic Connector Kit. Disponible en: <http://www.gdsinstruments.com/gds-products/hydraulic-connector-kit>

Hydraulic Tubing. Disponible en: <http://www.gdsinstruments.com/gds-products/hydraulic-tubing>

Internal Submersible Load Cells. Disponible en: <http://www.gdsinstruments.com/gds-products/internal-submersible-load-cells>

Manual Maquina Triaxial Dinámica

O'Reilly M, Brown S, Cyclic Loading of Soils, Van Nostrand, 1991

Parte 1 Introduction to Triaxial Testing PDF. 1 de 3.

Pastor, M. Blázquez, R. Olaya, C.. Caracterización en laboratorio de las propiedades dinámicas de los suelos. Revista de obras públicas, Junio 1983, p. 423 a 432.

Sample Prep Kit. Disponible en: <http://www.gdsinstruments.com/gds-products/sample-prep-kit>

SUELOS: Ensayo triaxial consolidado drenado (CD). Disponible en: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/03/suelos-ensayo-triaxial-consolidado.html>

Topcap and Pedestal. Disponible en: <http://www.gdsinstruments.com/gds-products/topcap-and-pedestal>

ANEXOS

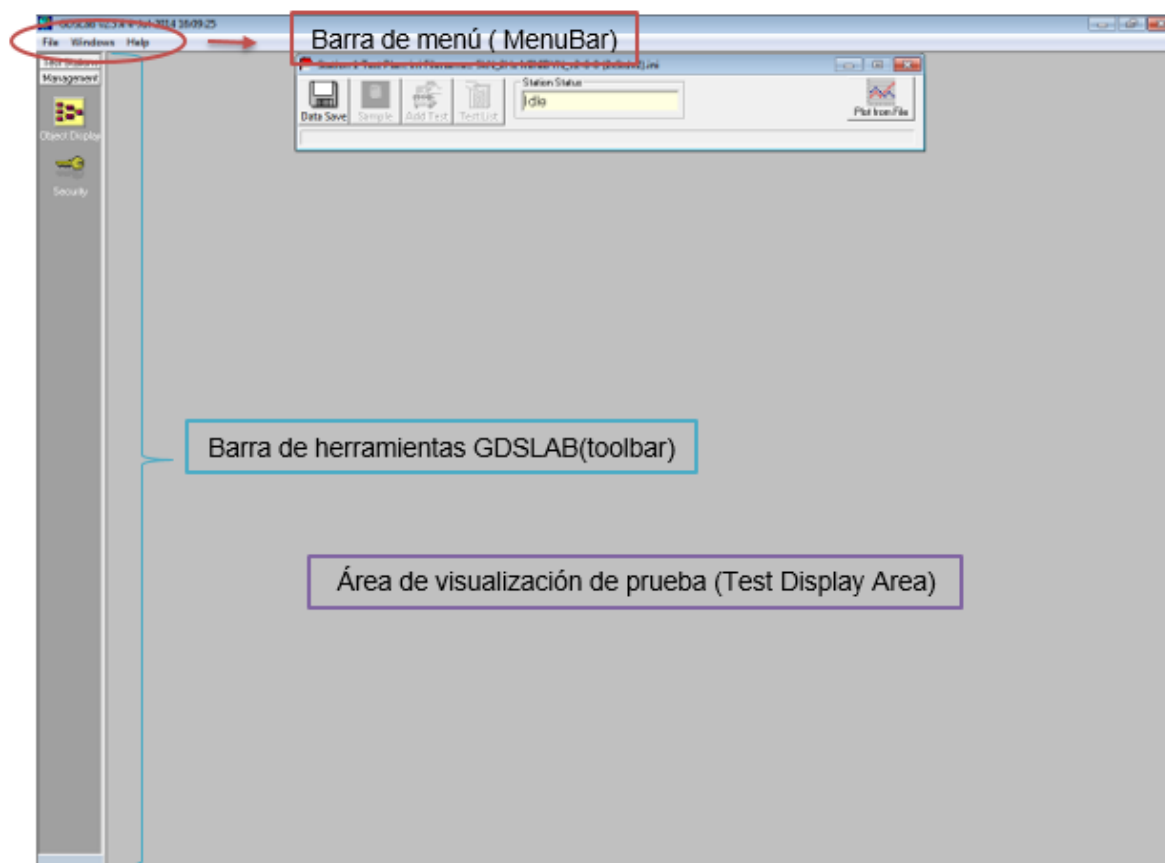
ANEXO A. Entorno gráfico del software

Entorno gráfico

El entorno se compone de 3 partes:

- Barra de herramientas GDSLAB(toolbar)
- Barra de menú (MenuBar)
- Área de visualización de prueba (Test Display Area)

Entorno gráfico del software.



La barra de desplazamiento en el lado izquierdo de la pantalla estará siempre disponible mientras se ejecuta GDSLAB. Muestra dos secciones de la barra de herramientas que son:

✓ Estación de prueba (Test Stations)

En este modo a cualquier estación se puede acceder haciendo click en el icono de la estación, un menú contextual aparecerá para darle opciones disponibles para su estación en todo momento, es decir, el contenido del menú dependerá de la situación actual de la estación de prueba seleccionada

✓ Gestión (Management)

Contiene las utilidades de herramientas GDSLAB

La sección puede ser cambiada entre la estación de prueba y la de gestión haciendo clic en los correspondientes botones de la barra de herramientas. (Si la estación de prueba se encuentra actualmente en la pantalla, el botón para mostrar la barra de herramientas de gestión estará en la parte inferior de la barra de herramientas).

Utilidades de gestión

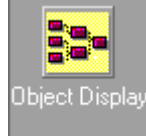
El entorno gráfico GDSLAB ha incorporado utilidades de gestión, que permiten la configuración del hardware, de la estación gestión y distintas opciones que puedan ser modificadas en la estación de seguridad.

Es posible acceder a las utilidades de administración GDSLAB a través de la barra de herramientas, cuando se hace click sobre ella.

Las utilidades de gestión que están incluidas son:

- ✓ Visualización del objeto (Object Display)

Object Display.



Muestra la configuración de la estación actual.

- ✓ Seguridad de la estación (station security)

Security.

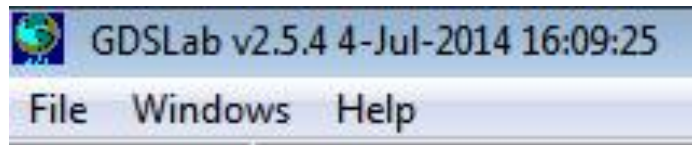


Contraseñas establecidas para detener los cambios accidentales en las configuraciones de las estaciones

Barra de menú superior (top menu bar)

Se trabaja igual que los títulos estándar de Windows; son:

Barra de menú superior.



- Archivo (file)

Permite la adición de nuevas estaciones de prueba

Seleccionando Quit cerrará GDSLAB completo. Si se está ejecutando actualmente una prueba debe ser detenida antes de utilizar Quit

Seleccionando Add new station podrá añadir otra estación a la sección de estado de prueba

Remove Last Station permite borrar la última estación creada, Edit Start-up permite que la configuración inicial sea cambiada

- Windows

Permite manipulación de ventanas abiertas

- Help acceso a los archivos de ayuda en línea.

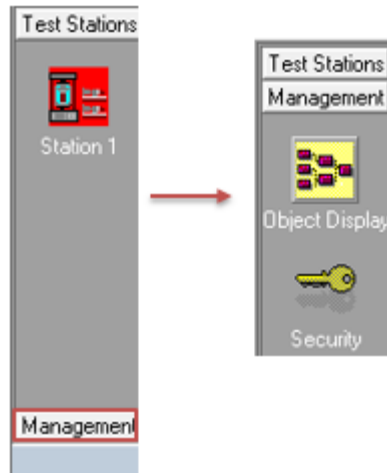
Área de presentación de prueba (Test Display Area)

El área de presentación de prueba GDSLAB es donde está toda la acción. Configuración y ejecución de pruebas, muestra todo lo que ocurre dentro del área de presentación de la prueba.

Configuración del hardware de la estación

Desde GDSLAB toolbar seleccione Management. Contiene los siguientes elementos:

Área de presentación de pruebas.



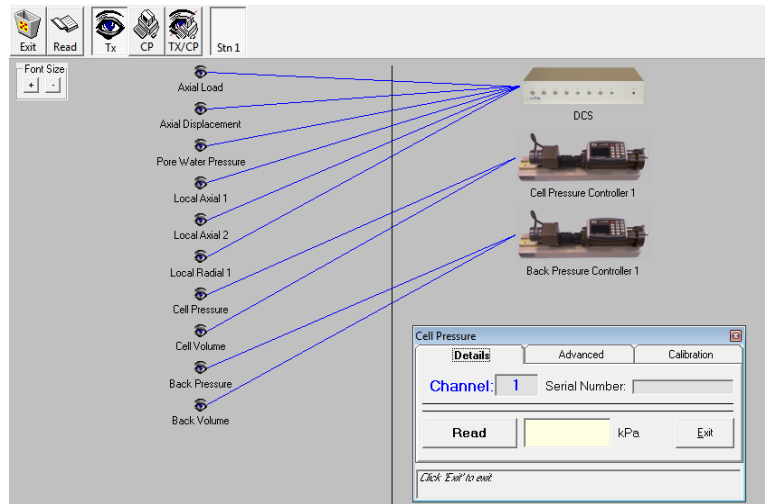
- ✓ Object Display (visualización del objeto)
- ✓ Security (seguridad)

Visualización del objeto (the object display)

Permite configurar la estación de prueba para ser vista

Cuando se selecciona object display de management, se muestra la configuración de la estación actual.

Visualización del objeto.

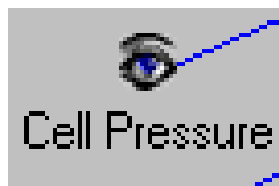


The object display represents graphically the configuration of the station given, always that it is possible to show a digital image of the parts of the equipment, other images include the object transducer (Transducer) and the control parameter (control Parameter):

✓ Transducer (transducer)

Único canal de un instrumento desde el cual sus datos pueden ser adquiridos. Por ejemplo, cell pressure (presión de cámara)

Cell Pressure.



✓ Parámetro de control (Control Parameter)

Canal de un instrumento que puede ser controlado, por ejemplo, aplicación de presión de la celda (Application of cell pressure)

CP Pressure Control.



Barra de herramientas del usuario (Object display)

La funcionalidad de visualización del objeto es principalmente mostrar los contenidos de la barra de herramientas al usuario.

Barra de herramientas del usuario.

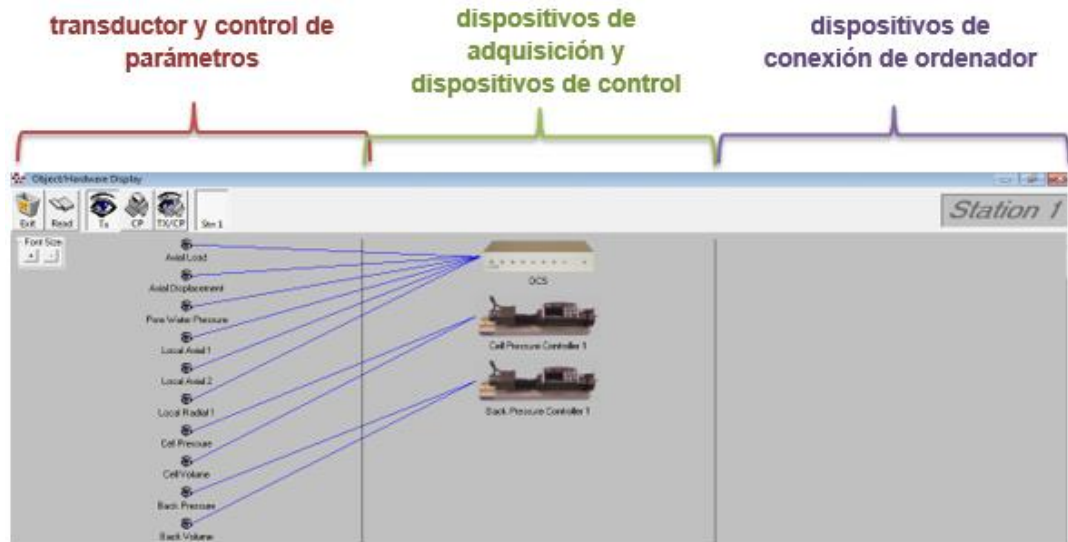


Usando user toolbar, la pantalla de la estación puede ser alterada para mostrar los objetos del transductor o los parámetros de control de los objetos. Esto se puede seleccionando el botón view transducer objects o el botón view control parameter objects.

Diseño del hardware de la estación (object display)

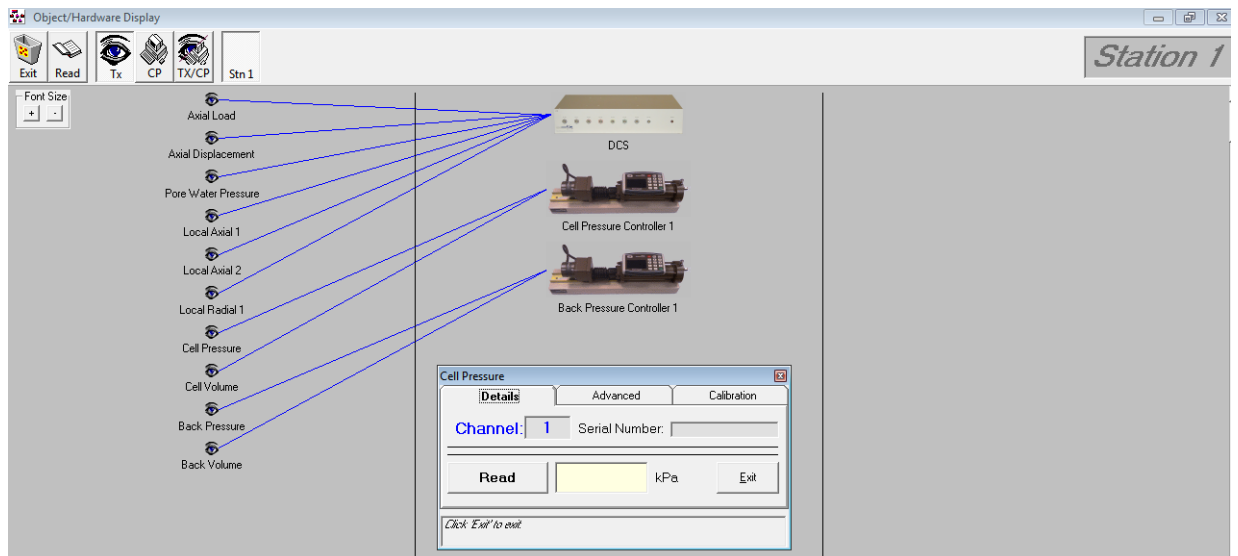
Se divide en 3: transductor y control de parámetros (transducer and control parameters), dispositivos de adquisición y dispositivos de control (acquisition devices and control devices), y dispositivos de conexión de ordenador (computer connection devices)

Diseño del hardware de la estación.



Haciendo click en cualquiera de los dispositivos dentro de la pantalla del objeto aparecerá información sobre este dispositivo

Hardware de la estación.

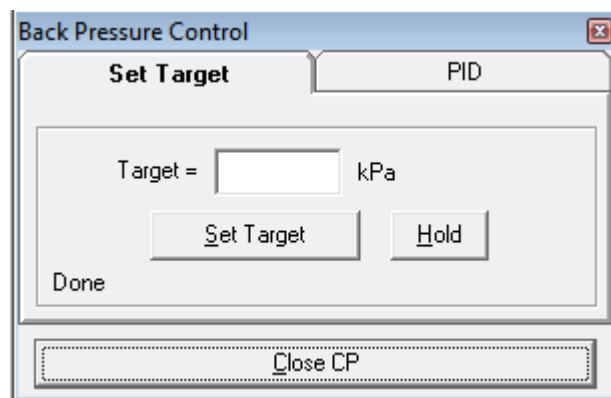


Suponiendo que el hardware está conectado al sistema correctamente al hacer click en el icono ojo se abrirá los detalles del transductor.

Es importante introducir los datos correctos en la ficha opciones avanzadas (advanced tab) tales como: escala completa transductor (transducer full scale), decimales (decimal places) y límite superior transductor (transducer upper limit), la ficha de calibración también es importante, o se la sensibilidad del transductor.

Parámetro de control (Control parameter)

Back pressure control.



Los parámetros de control, permite al usuario establecer un valor único en el dispositivo de control asociado. Esto se utiliza principalmente para la configuración inicial de una prueba.

Módulos de pruebas

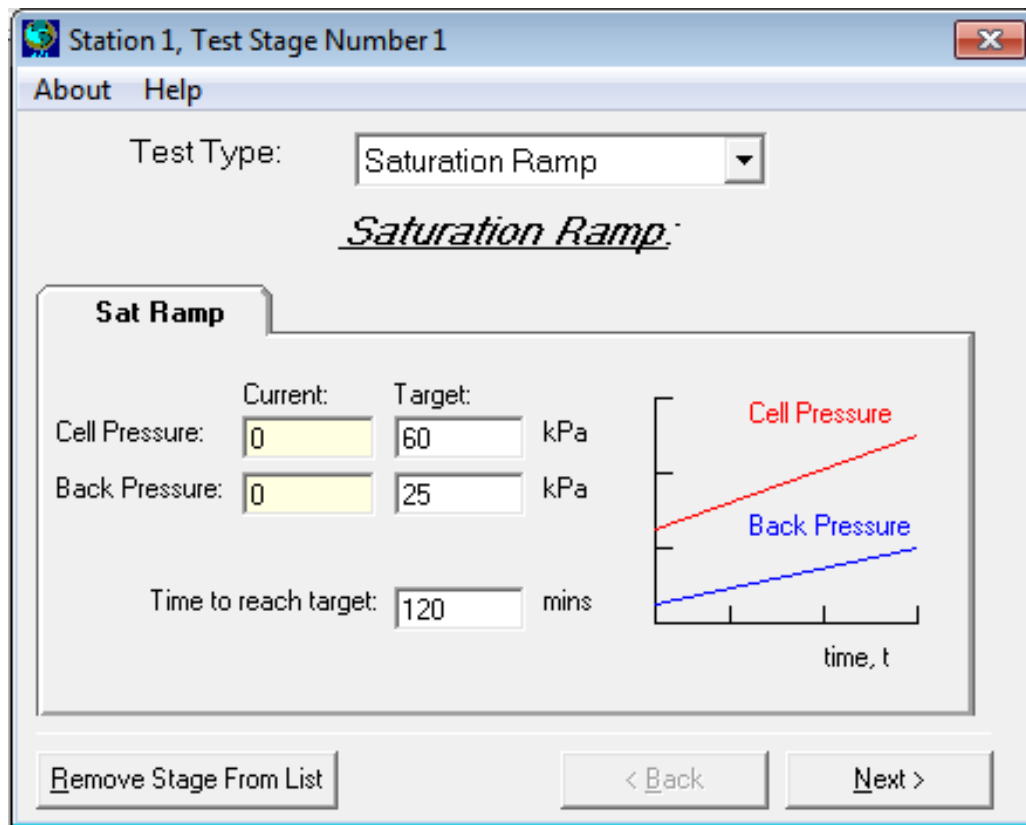
Satcon

✓ Rampa de saturación

Le permite de forma independiente aumentar o disminuir la presión de la cámara (cell pressure) y la contrapresión (back pressure), la rampa de saturación se utiliza para cambiar de manera constante la presión en el sistema ya sea manteniendo un esfuerzo efectivo constante o cambiando la tensión efectiva deseada.

La pantalla de configuración de la rampa de saturación (abajo) mostrará la lectura actual de la presión de cámara (cell pressure) y la contrapresión en el sistema (back pressure in system). Introduzca las presiones requeridas para la presión de cámara (back pressure) y la contrapresión (back pressure), junto con el tiempo para cada dispositivo, para llegar a estas presiones.

Rampa de saturación.



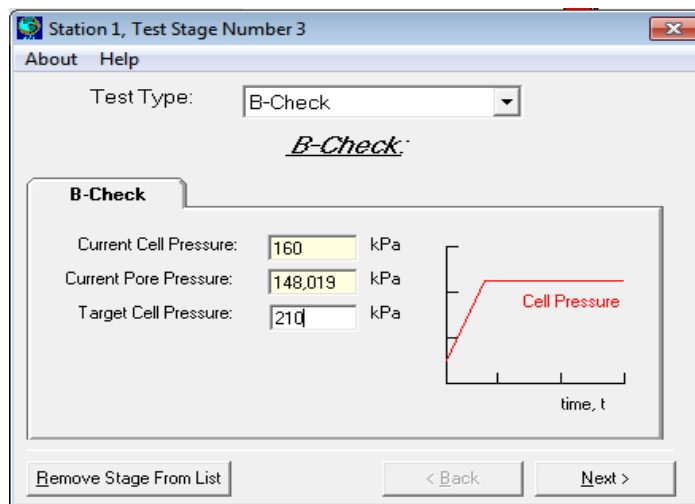
✓ B-check

Es un pre-test para comprobar que la muestra está saturada de manera suficiente, mide el parámetro de presión de poros B skempton, la presión de cámara (cell pressure) se incrementa hasta el valor especificado mientras que la contrapresión (back pressure) se mantiene constante (estado sin escurrir). El sistema compara el cambio en la presión de poro (Δu) causada por el incremento de la presión de cámara ($\Delta \sigma_3$). El valor de B se calcula como $(\Delta u)/(\Delta \sigma_3)$

La pantalla de configuración B-check (abajo) mostrará la lectura actual de la presión de cámara (cell pressure) y la contrapresión en el sistema (back pressure in the system), ingrese la presión objetivo necesario para la presión de cámara (cell pressure)

El sistema buscara la presión objetivo en el menor tiempo que puede, si utiliza un controlador de GDS, esto puede tardar entre 1 y 5 minutos, dependiendo del tamaño de la celda y la cantidad de aire dentro del agua

Etapa de B-check.



✓ Consolidación

- Aplica una presión constante de cámara (cell pressure) y una contrapresión constante a la muestra, mientras se realiza un seguimiento del cambio de volumen.
- La pantalla de configuración de consolidación (abajo) mostrara la lectura actual de la presión de cámara (cell pressure) y la contrapresión en el sistema (back pressure in the system), ingrese la presión objetivo necesaria para la presión de cámara (cell pressure) y la contrapresión (back pressure)

Etapa de Consolidación.

The screenshot shows a software window titled "Station 1, Test Stage Number 4". The "Test Type" is set to "Consolidation". The window is titled "Consolidation" and contains the following fields:

| | Current: | Target: | |
|----------------|----------|---------|-----|
| Cell Pressure: | 211 | 249 | kPa |
| Back Pressure: | 149 | 149 | kPa |

There is a checkbox labeled "Use current Back Pressure value for target?" which is currently unchecked. To the right of the input fields is a small graph with a red line for "Cell Pressure" and a blue line for "Back Pressure". The x-axis is labeled "time, t".

At the bottom of the window are three buttons: "Remove Stage From List", "< Back", and "Next >".

✓ Opciones de terminación de la prueba

El siguiente paso en la configuración de la prueba es la selección de las opciones de terminación de la prueba:

Opciones de terminación de prueba en Satcon.

The screenshot shows a software window titled "Station 1, Test Stage Number 3". The window is titled "Optional Test Termination Conditions:" and contains the following options:

- End of Saturation Ramp
Stop the test when the saturation ramp is complete
- End of Consolidation ($dV=0$)
Stop the test if back volume change < 5mm³ over a period of 5 minutes
- Max Skempton B-Value
After 5 minutes if selected B-value is exceeded the test will stop
- Hold Pressures at end of test
At end of test, send a final target pressure (not hold volume)
- Maximum Test Length = minutes
Stop the test after 'x' minutes in the current stage
- Go to next stage automatically Wait for user interaction

At the bottom of the window are three buttons: "Remove Stage From List", "< Back", and "Next >".

- Final de la rampa de saturación (end of saturation ramp):

La prueba se detendrá (o pasará a la siguiente fase si existe), cuando la rampa de saturación este completa

- Fin de la consolidación (end of consolidation):

Si el usuario está realizando una consolidación de varias etapas, es posible que quieran que el equipo detecte el final de la consolidación, por supuesto no hay un método perfecto para detectar esto, por lo que el programa funciona en el supuesto de que, durante cualquier periodo de 5 minutos, si el cambio de volumen dentro de la masa es $< 5\text{mm}^3$, se considera completa

- Max skempton B-value:

La prueba se detendrá (o pasará a la siguiente fase) si después de 5 minutos se supera el valor B Skempton introducido por el usuario

- Mantener la presión al final de la prueba (Hold pressure at end of test):

Marcando esta casilla hará que el ultimo comando se establezca las fuentes de las presiones finales (en donde es posible el control de la computadora), si el cuadro permanece sin llenar, fuentes de presión se establecerán para mantener el volumen en lo posible

- Longitud máxima de la prueba:(Maximum test length):

Si el usuario conoce la duración exacta de la prueba, entonces en el cuadro de longitud máxima de prueba (maximum test length) debe llenar ese valor, el tiempo se colocará en minutos, si no se llena este cuadro entonces la prueba continuará hasta que el usuario la detenga.

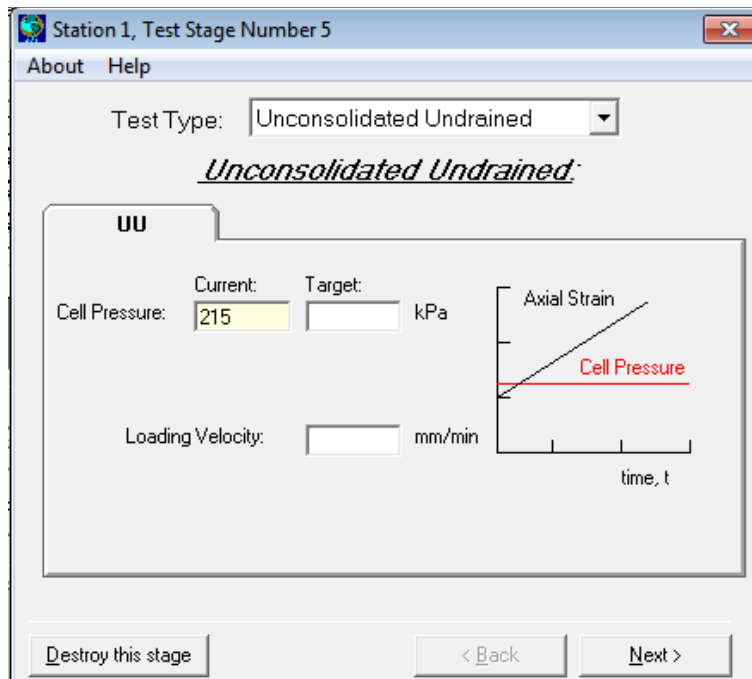
Triaxial estándar

✓ No consolidado no drenado

Proporciona el control para la etapa de falla de la prueba UU, se mantiene un valor constante para la presión de la cámara y para la velocidad axial

La pantalla de no consolidado no drenado mostrara la lectura actual de la presión de cámara en el sistema. Introduzca la presión requerida de cámara, y la velocidad de deformación (strain rate) (mm/min)

Prueba no consolidado no drenado.

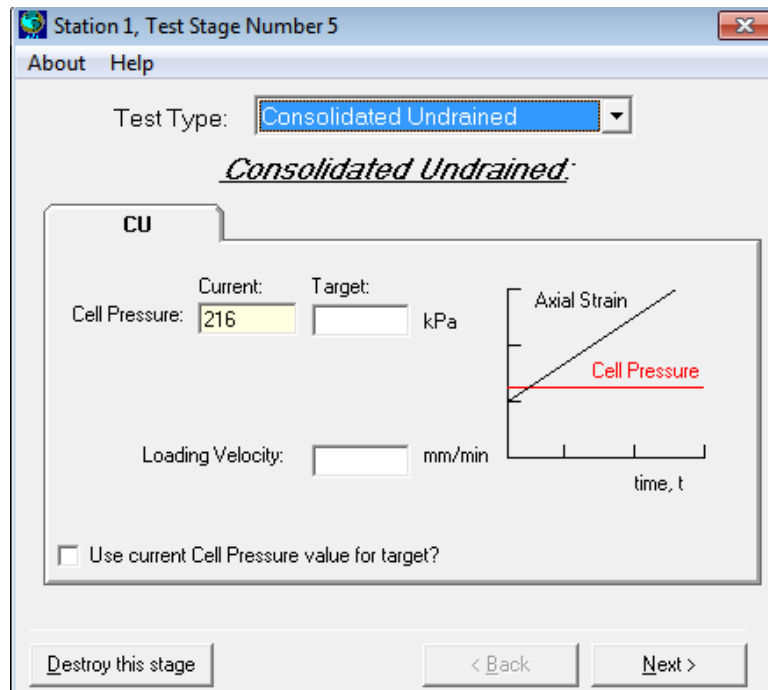


✓ Consolidado no drenado

Proporciona el control para la etapa de falla de la prueba CU, se mantiene valor constante para la presión de cámara y para la velocidad axial

La pantalla de consolidado no drenado mostrara la lectura actual de la presión de cámara en el sistema. Introduzca la presión requerida de cámara, y la velocidad de deformación (strain rate) (mm/min)

Prueba consolidado no drenado.

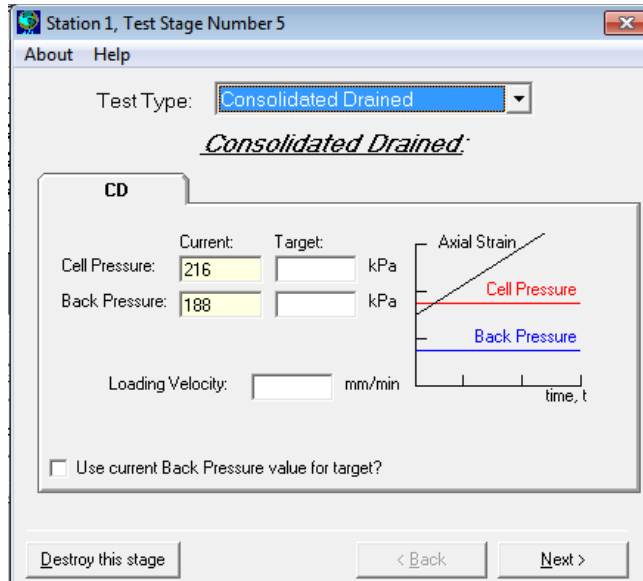


✓ Consolidado drenado

Proporciona el control para la etapa de falla de la prueba CD, se mantiene un valor constante para la presión de cámara y para la velocidad axial midiendo el cambio de volumen

La pantalla de consolidado drenado mostrara la lectura actual de la presión de cámara (cell pressure) y la contrapresión (back pressure) en el sistema. Introduzca la presión requerida de cámara, y la contrapresión junto con la velocidad de deformación (strain rate) (mm/min).

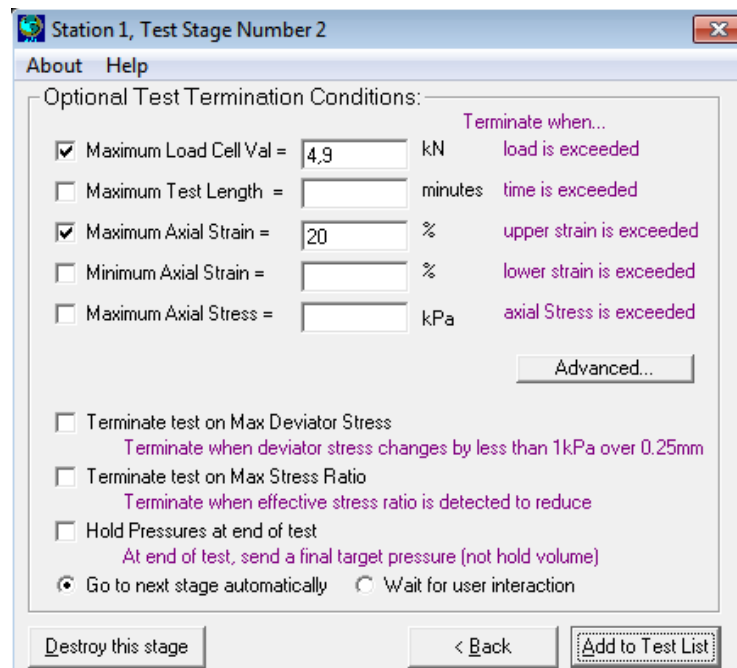
Prueba consolidada drenado.



✓ Pantalla de terminación de prueba

El paso final en la configuración de la prueba es la selección de las opciones de terminación de la prueba:

Opciones de terminación de prueba para triaxial estándar.



- Máximo valor de la celda de carga (Maximum load cell value):

El usuario puede introducir un límite máximo para la celda de carga en cuyo punto la prueba se detendrá

- Longitud máxima de ensayo (Maximum test length):

Si el usuario conoce la duración exacta de la prueba, entonces en el cuadro de longitud máxima de prueba (maximum test length) debe colocar el valor, el tiempo se colocará en minutos, si no se llena este cuadro entonces la prueba continuará hasta que el usuario la detenga.

- Deformación axial máxima (Maximum axial strain):

El usuario puede introducir un límite máximo para la deformación axial, momento en el cual la prueba se detendrá si utiliza este parámetro la velocidad de carga será positivo

- Deformación axial mínima (Minimum axial strain):

El usuario puede introducir un límite mínimo para la deformación axial, momento en el cual la prueba se detendrá.

- Esfuerzo axial máximo (Max Deviator Stress):

El usuario puede querer que la computadora detecte la tensión máxima desviadora de la prueba, pero no hay ningún método perfecto en un PC para detectar esto, por lo que el programa funciona con el supuesto de que si en cualquiera de las 4 lecturas consecutivas de esfuerzo desviador, la lectura más reciente es el mismo o menor valor que el anterior entonces La tensión máxima desviadora, a continuación, se termina cuando la cuarta lectura es menor que la tercera.

- Relación de tensión máxima (Max stress ratio):

El usuario puede querer que la computadora detecte la Relación de tensión máxima de la prueba, pero no hay ningún método perfecto en un PC para detectar esto, por lo que el programa funciona con el supuesto de que si en cualquiera de las 4 lecturas consecutivas de esfuerzo desviador, la lectura más reciente es el mismo o menor que el anterior entonces La tensión máxima desviadora, a continuación, se termina cuando la cuarta lectura es menor que la tercera.

- Mantener la presión al final de la prueba (Hold pressure at end of test)

Marcando esta casilla hará que el ultimo comando se establezca las fuentes de las presiones finales (en donde es posible el control de la computadora), si el cuadro permanece sin llenar, fuentes de presión se establecerán para mantener el volumen en lo posible

Ensayo Triaxial dinámico

- ✓ Test 1 ensayo cíclico dinámico con control de desplazamiento

Alta velocidad de la prueba cíclica con control de desplazamiento, con presión constante de cámara y contrapresión

- ✓ Test 2 ensayo cíclico dinámico con control de carga

Alta velocidad de la prueba cíclica con control de la carga axial, con presión constante de cámara y contrapresión

- ✓ Cíclica dinámica con control de desplazamiento

Proporciona un medio para controlar cíclicamente el desplazamiento axial a alta frecuencia, mientras que se mantiene una presión constante de cámara.

La pantalla de desplazamiento para una configuración dinámica cíclica (abajo) mostrará la lectura actual del desplazamiento axial (axial displacement), y la lectura de la presión de cámara del sistema, introduzca el objetivo requerido del desplazamiento axial y la amplitud y frecuencia cíclica, introduzca también la presión de la cámara requerida.

Carga cíclica dinámica con control de desplazamiento.

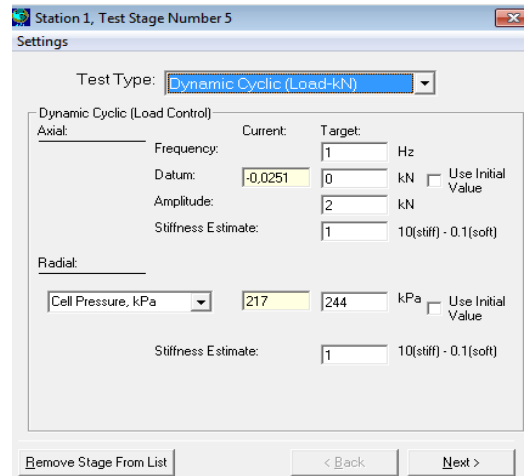
The screenshot shows a software window titled "Station 1, Test Stage Number 10" with a "Settings" tab. The "Test Type" is set to "Dynamic Cyclic (Displacement)". Under "Dynamic Cyclic (Displacement Control)", the "Axial" section has "Frequency" at 1 Hz, "Datum" at -0.0002 mm, and "Amplitude" at 0.035 mm. The "Radial" section has "Cell Pressure, kPa" at 599 kPa and "Stiffness Estimate" at 1 (10[stiff] - 0.1[soft]). There are "Use Initial Value" checkboxes for the datum and cell pressure fields. At the bottom, there are buttons for "Remove Stage From List", "< Back", and "Next >".

✓ Cíclico dinámico con control de carga

Proporciona un medio para controlar cíclicamente la carga axial a alta frecuencia, mientras se mantiene una presión constante de celda

La pantalla de configuración dinámica cíclica abajo mostrará la lectura actual del dato de la carga axial (axial load datum) y la presión de cámara actual en el sistema (current cell pressure in the system). Introduzca el dato requerido de la carga axial (axial load datum), la amplitud y la frecuencia cíclica (amplitude and the Cyclic frequency), también introducir la presión de la cámara requerida

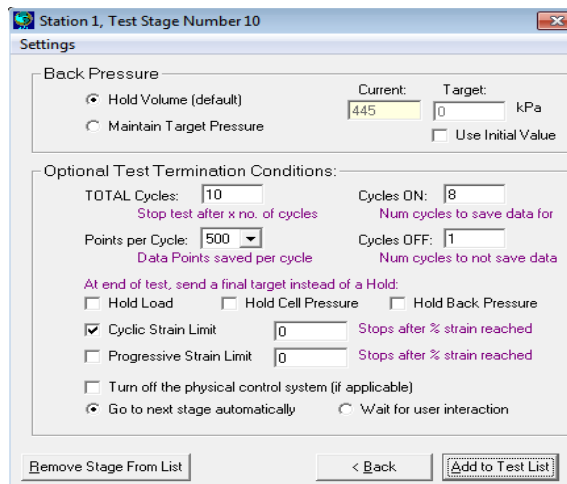
Carga cíclica dinámica con control de carga.



✓ Pantalla de terminación de prueba

El siguiente paso en la configuración de la prueba es la selección de las opciones de terminación de la prueba:

Opciones de terminación de prueba para Carga cíclica dinámica.



- Ciclos totales (total cycles)

Introducir el número de ciclos después de que la prueba se detendrá.

- Puntos por ciclo (points per cycle)

Introduce el número de puntos que deben tomarse por ciclo- disponibles son 8,16,32 y 64 puntos para los sistemas de tarjetas HSDAC mayores, todo sistema de post 2005 (sistema DCS) tiene la opción 10,20,50,100,200,500 o 1000 puntos por ciclo.

- Ciclos prendidos (cycles on)

Introducir el número de ciclos para registrar datos, esto se repite hasta que la prueba se detiene. Por favor consulte el manual del hardware para que la cantidad de datos que la tarjeta de adquisición de datos de alta velocidad se mantenga, cuando se realiza una prueba de largo, es posible que la tarjeta se quede sin memoria si los datos de todos los ciclos se guardan.

- Ciclos de apagado (cycles off)

Introducir el número de ciclos que no registra datos.

- Mantener la presión al final de la prueba (Hold pressure at end of test)

Marcando esta casilla hará que el ultimo comando se establezca las fuentes de las presiones finales (en donde es posible el control de la computadora), si el cuadro permanece sin llenar, fuentes de presión se establecerán para mantener el volumen en lo posible.

- Límite de la tensión cíclica y límite de deformación progresiva (DYNTTS, HCA & LDCTTS ONLY)

Límites de deformación cíclica y/o progresiva pueden ser definidos utilizando el control de carga. Los valores de deformación cíclica son evaluados al finalizar cada ciclo de carga y activaran la terminación de la prueba si estos valores superan los valores definidos por el usuario en deformación cíclica, se dan los siguientes:

- Límite de deformación cíclica (Cyclic strain limit)

El límite de la tensión cíclica, ϵ_{cyc} , dentro en el módulo de prueba se convierte en una doble amplitud axial dentro del sistema dinámico a través de la multiplicación de ϵ_{cyc} por un factor de 2. Los valores mínimos de deformación axial $\epsilon_{a,max}$, $\epsilon_{a,min}$ registrados durante el ciclo de carga máxima más reciente se utilizan para calcular la doble amplitud axial cíclica de corriente cesa- si se encuentra $2\epsilon_{cyc}$ excede ϵ_{amax} se termina la prueba.

- Límite de deformación progresiva (progressive strain limit)

El límite de la tensión progresiva, ϵ_{prog} , que se entró en el módulo de prueba se activa cuando la deformación axial (%) acumulada desde el inicio de la fase de la prueba, $\epsilon_{a,0}$ a la deformación media axial aplicada durante el ciclo de carga más reciente $\epsilon_{a,avg}$ se supera. Tenga en cuenta la deformación axial media se calcula por el sistema dinámico a través de la adición de los valores de tensión axiales mínimas registradas durante los ϵ_{amax} más recientes del ciclo de carga Max y ϵ_{amin} dividido por un factor de 2 (i.e., $\epsilon_{a, avg} = (\epsilon_{a,max} + \epsilon_{a,min})/2$). Si se encuentra que ϵ_{prog} excede el valor progresivo de la tensión, $\epsilon_{a, avg} - \epsilon_{a, 0}$, o $\epsilon_{a,0} - \epsilon_{a,avg}$ la prueba se terminará.

- Ir a la siguiente etapa de forma automática o esperar a la interacción del usuario (go to next stage automatically & wait for user interaction)

Esto da la opción para que el software continúe con otras etapas de la prueba, esto puede ser útil si una etapa termina cuando usted está ausente del laboratorio (u ofician & desea que la prueba continúe sin la interacción del usuario).

Diagrama de histéresis. Adaptado de manual de maquina triaxial dinámica GDS

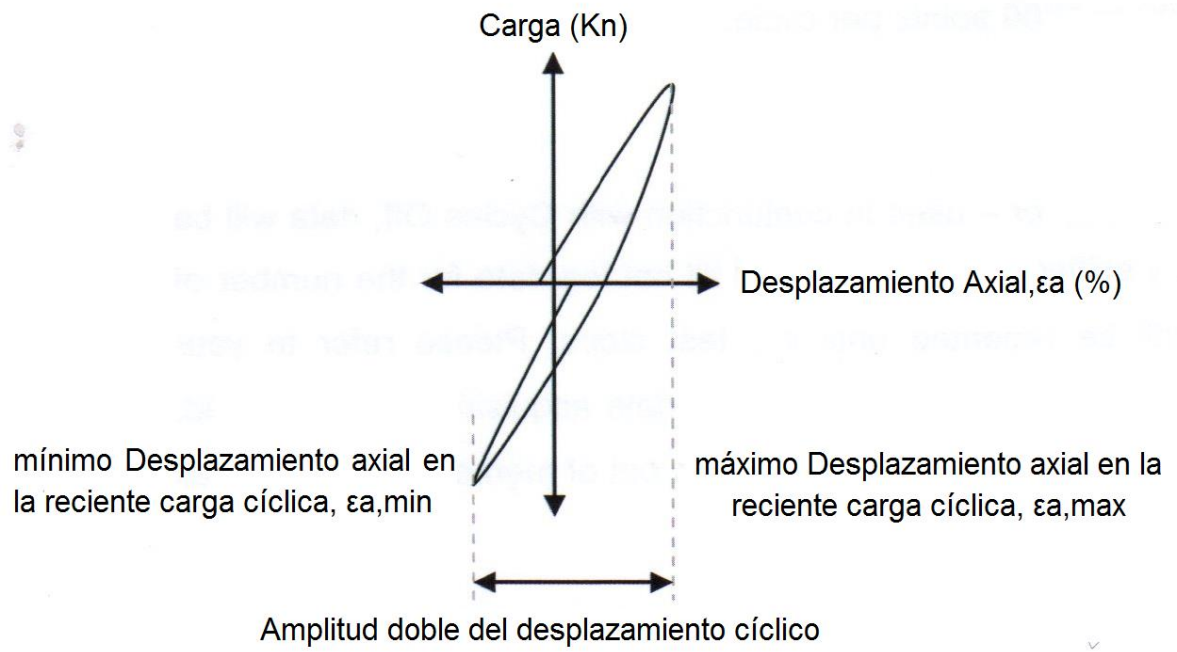


Diagrama de histéresis. Adaptado de manual de maquina triaxial dinámica GDS

